VOL. XXXIV (LI DEGLI ATTI) 10-25 Maggio 1947 N. 5
Pubblicato il 5 Giugno 1947

L'ELETTROTECNICA

GIORNALE ED ATTI DELLA
ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA
SOTTO IL PATRONATO DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMITATO DIRETTIVO A. BARBAGELATA, DIRETTORE DELLA RIVISTA - U. BORDONI - M. SEMENZA - G. VALLAURI
REDAZIONE R. SAN NICOLÒ, REDATTORE CAPO - A. DALLA VERDE, F. NERI, R. SARTORI, G. SILVA, REDATTORI M. BOELLA - P. LOMBARDI, COLLABORATORI ORDINARI
AMMINISTRAZIONE: UFFICIO CENTRALE DELL'A. E. I. - MILANO - VIA SAN PAOLO, 10 - TEL. 13-713 e 82-086 - C/C POSTALE 3/1189
È GRADITA LA COLLABORAZIONE DEI LETTORI. - GLI ARTICOLI DI INTERESSE GENERALE ACCETTATI DALLA REDAZIONE SONO COMPENSATI
GLI SCRITTI DEI SINGOLI AUTORI NON IMPEGNANO LA REDAZIONE E QUELLI DELLA REDAZIONE NON IMPEGNANO L'A. E. I.
I MANOSCRITTI NON SI RESTITUISCONO. SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE
SI INVIA GRATIS AI SOCI DELLA A. E. I. - IN ITALIA: ABBONAMENTO ANNUO L. 1800,—; PER L'ESTERO L. 2500,—
PREZZO DEL PRESENTE FASCICOLO: PER I SOCI DELL'A. E. I. L. 125,—; PER I NON SOCI L. 180,—; PER L'ESTERO L. 250,—

SOMMARIO

PARTE PRIMA

Articoli:
Un comparatore a lettura diretta per la verifica dei trasformatori di misura (F. NERI) . . . Pag. 166
Guglielmo Marconi e il cinquantenario della radio (G. VALLAURI) . . . » 169
Impregnazione dell'isolamento degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti con vernici isolanti sintetiche (C. BENCO) . . . » 174
Circuiti oscillanti pseudoarmonici (G. QUILICO - continuaz. e fine, v. N. 4, pag. 126) . . . » 182
Rubrica "Juniores":
Studio sulla metadinamo in croce (G. BATTISTINI) . . . » 196
Lettere alla Redazione: Progressi nel campo delle ultrafrequenze (A. RIGHI) . . . » 204
Notizie e Informazioni . . . » 204
Libri e Pubblicazioni . . . Pag. 206
Dalle Riviste . . . » 208
Notizie dell'Associazione:
Verbale del Consiglio generale - Milano, 18 aprile 1947 . . . » 211
L'organizzazione della XLVIII Riunione annuale. . . . » 213
Notizie delle Sezioni: Sezioni di Bologna e Genova . . . » 214
Sezione Pugliese . . . » 215
Sezione di Torino . . . » 216
Sezione Veneta . . . » 219
Necrologio: Sen. Dott. Ing. Giorgio Enrico Falck. . . . » 219
— Antonio Stefano Benni - Dott. Ing. Riccardo Gerli . . . » 220
Attività delle Sezioni: Sezioni di Firenze, Genova, Napoli, Torino e Veneta . . . » 220
Errata corrige . . . » 220

PARTE SECONDA

Sunti e Sommari . . . » 37D

Il Consiglio generale dell'A. E. I.

In altra parte del giornale pubblichiamo il verbale dell'ultima seduta del Consiglio Generale, tenuta a Milano il 18 aprile u. s.

La prossima Riunione annuale.

I lettori troveranno, nella Parte ufficiale del presente fascicolo, alcune notizie di massima sull'organizzazione tecnica della Riunione che si terrà a Torino nel prossimo mese di settembre. Invitiamo quindi tutti coloro che intendono collaborare con relazioni o memorie a mettersi alacremente al lavoro, attenendosi alle direttive indicate in quanto pubblichiamo più avanti.

Nuovo comparatore per la prova dei trasformatori di corrente.

Ancora una volta la previsione che in fatto di metodi e di apparecchi per la prova dei trasformatori di misura non vi fosse più nulla da innovare, viene smentita, ed ancora come già l'altra volta (1) ad opera del collega Neri. In questo numero viene infatti illustrato un nuovo dispositivo da lui felicemente realizzato che potrebbe definirsi un comparatore a lettura diretta. Mentre lo schema del circuito è del tutto simile a quello di molti comparatori per riduzione a zero, col nuovo dispositivo senza bisogno di regolazione, la deviazione di uno speciale galvanometro ad ago, a doppia eccitazione, dà direttamente tanto l'errore percentuale di rapporto quanto quello d'angolo. La determinazione delle caratteristiche del *TA* in prova riesce pertanto assai più rapida.

Ricorrenze.

Quest'anno 1947 ha recato per la nostra A.E.I. il compimento del suo primo mezzo secolo di vita e reca in pari tempo il centenario della nascita ed il cinquantenario della morte, purtroppo immatura, del suo fondatore e primo presidente, Galileo Ferraris. Tali eventi saranno illustrati nella Riunione annuale di quest'anno, cui è stato appunto assegnato lo scopo di rievocarli e di celebrarli degnamente.

In questo stesso anno ricorre anche il cinquantenario di un altro avvenimento, memorabile nella storia della civiltà e dei contributi che alla civiltà il genio italiano ha sempre generosamente recato: la concessione del primo brevetto marconiano, cioè il sorgere della radio.

È ben giusto che, a conforto e ad incitamento degl'italiani nel presente periodo di dura e difficile ripresa, il cinquantenario della radio e la figura di Guglielmo Marconi siano oggetto di degna celebrazione da parte di tutto il Paese ed in particolar modo da parte degli elettrotecnici italiani. A tale scopo pensiamo che ben risponda quanto ha scritto il collega VALLAURI per la prima grande manifestazione del ciclo di onoranze, che è in corso di svolgimento e che dovrà culminare nel Congresso internazionale della radio, indetto per la fine di settembre a Roma dal Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Questioni costruttive.

Le vernici isolanti sintetiche sono di introduzione abbastanza recente nella tecnica delle costruzioni elettromeccaniche e, per dare i buoni risultati di cui sono suscettibili, richiedono di essere trattate con procedimento e con accorgimenti ben definiti che soltanto la pratica può insegnare.

I lettori saranno grati all'ing. C. BENCO che sul giornale mette oggi a loro disposizione la propria esperienza e la propria competenza di costruttore, in questo campo.

Ancora della metadinamo.

Dei vari tipi di metadinamo il nostro giornale si è più volte largamente occupato. Oggi l'ing. G. BATTISTINI ritorna sull'argomento relativamente a un tipo particolare, quello della metadinamo in croce, analizzandola dal punto di vista fisico e facendone rilevare i numerosi aspetti che essa può assumere nel suo funzionamento.

LA REDAZIONE

(1) *Elettrotecnica*, 10 gennaio 1936.

UN COMPARATORE A LETTURA DIRETTA PER LA VERIFICA DEI TRASFORMATORI DI MISURA

F. NERI

Viene descritto un nuovo tipo di comparatore per trasformatori di misura, suscettibile di fornire, per lettura diretta, gli errori percentuali dei trasformatori stessi rispetto ad un campione.

1. – Si consideri (fig. 1) un « ago » di materiale ferromagnetico a, imperniato in O e situato in posizione simmetrica sull'asse di un solenoide S_l, che supporremo sufficientemente lungo rispetto ad a. Se l'avvolgimento costituente il solenoide si fa percorrere da una corrente alternativa p. es. sinusoidale, si esplica sull'ago a una azione ponderomotrice che può intendersi rappresentabile con due forze $F - F$ eguali ed opposte, che tendono a tenere orientato l'ago stesso secondo l'asse del solenoide, ed il cui valore istantaneo f può mettersi sotto la forma

$$f = k \varphi i_l$$

essendo i_l il valore istantaneo della corrente, φ quello del flusso d'induzione che interessa l'ago a. Il valore medio F della forza ora considerata può allora scriversi:

$$F = k \Phi I_l \qquad (1)$$

essendo Φ e I_l i valori efficaci del flusso e della corrente prima considerati, ed avendo supposti trascurabili i fenomeni dissipativi di cui è sede l'ago.

Se ora si suppone di spostare l'ago stesso di un *piccolo* angolo ϑ rispetto alla sua posizione di naturale equilibrio, su di esso si esplica una coppia C_d (coppia direttrice) che tende a riportare l'ago nella posizione primitiva e che, in ragione della supposta piccolezza di ϑ, può mettersi sotto la forma:

$$C_d = k_d \Phi I_l \vartheta \qquad (2)$$

essendo k_d una nuova costante.

Si disponga ora (fig. 2) p. es. internamente ad S_l e con l'asse perpendicolare a quello di quest'ultimo, un secondo solenoide S_t; se questo vien fatto percorrere da una corrente alternativa sinusoidale di valore efficace I_t, isofrequenziale con I_l e naturalmente con questa coesistente, l'ago è soggetto ad una coppia, la quale tende a farlo ruotare intorno all'asse O ed il cui valor medio C_m vale:

$$C_m = k_m \Phi I_t \cos \Psi \qquad (3)$$

essendo Ψ lo sfasamento esistente tra Φ e I_t o, ciò che fa lo stesso nella ipotesi già formulata, tra I_l e I_t (1).

Ne segue che, sotto l'azione contemporanea delle due correnti I_l e I_t, l'ago subirà una deviazione ϑ che, nei limiti di validità della (2), si ottiene eguagliando le coppie espresse dalle (2) e (3). Si ha dunque:

$$\vartheta = K \frac{I_t \cos \Psi}{I_l} \qquad (4)$$

(1) La supposta piccolezza dell'angolo ϑ consente di ritenere praticamente trascurabile l'influenza di I_t su Φ.

L'angolo di deviazione risulta cioè indipendente da Φ, direttamente proporzionale alla proiezione di I_t sulla direzione di I_l e inversamente proporzionale a quest'ultima corrente. Uno strumento cosiffatto gode dunque di proprietà analoghe a quelle caratteristiche dei noti strumenti ferrodinamici a « molla elettrica » o che possono venir conferite a quelli elettrodinamici a bobine incrociate; risulta peraltro di questi assai più semplice costruttivamente ed, a parità di prestazioni, assai più sensibile.

2. – Le applicazioni di un simile semplicissimo dispositivo sono molteplici, e su alcune di esse ci riserviamo di ritornare in altra occasione; particolarmente interessante è sembrata la possibilità di adattare lo strumento alla creazione di un comparatore *a lettura diretta*, suscettibile cioè di fornire senz'altro gli errori *percentuali* di un trasformatore di misura (rispetto ad un campione), senza necessità di dover compiere le operazioni di « taratura » iniziale o di azzeramento che sono richiesti da tutti i comparatori oggi in uso.

La risoluzione del problema si presenta per ovvie ragioni assai più interessante per i trasformatori di corrente che non per quelli di tensione, ed è perciò che unicamente dei primi ci occupiamo in questa sede, ovvia del resto risultando, dopo quanto si dirà, la risoluzione dell'analogo problema per i secondi, o la possibilità dell'adattamento dello stesso strumento all'uno e all'altro scopo, analogamente a quanto consentono quasi tutte le apparecchiature per la verifica dei trasformatori di misura.

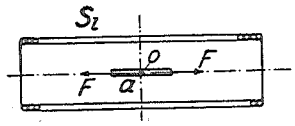

Fig. 1

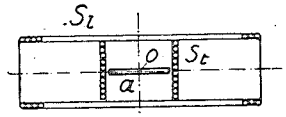

Fig. 2

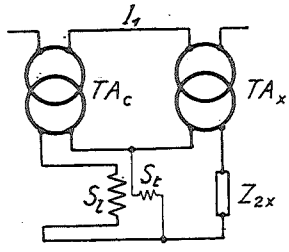

Fig. 3

Lo schema di partenza è naturalmente quello ben noto dei metodi differenziali (fig. 3). $T A_c$ e $T A_x$ sono rispettivamente il trasformatore campione e quello da verificare, Z_{2x} la prestazione relativa a quest'ultimo. Lo strumento prima descritto ha l'avvolgimento a suo tempo indicato con S_l in serie col secondario di $T A_c$, mentre l'avvolgimento S_t è disposto nella « diagonale ».

La forma della (4) e le ben note definizioni degli errori, mostrano che, con tale inserzione, la deviazione che subisce lo strumento è semplicemente proporzionale all'errore percentuale di rapporto di $T A_x$ (rispetto al campione) onde esso errore può essere direttamente letto sulla scala dello strumento stesso, senz'altra cura che quella di variare gradualmente la corrente primaria comune ai due trasformatori entro i limiti desiderati.

Se dunque si trattasse di rilevare solo l'andamento dell'errore di rapporto, lo schema sarebbe di una semplicità elementare; esso si complica alquanto se, com'è evidentemente necessario, il dispositivo deve essere suscettibile di misurare anche l'errore d'angolo, e se quest'ultimo vuol potersi leggere, in percento, sulla medesima scala relativa a quella di rapporto.

È all'uopo necessario, con un artificio qualsiasi, ruotare di 90° la corrente I_l che percorre l'avvolgimento S_l o quella I_t che si stabilisce in S_t, lasciandone inalterate le ampiezze; e ben inteso che alle operazioni ora indicate, possono sostituirsene altre equivalenti dal punto di vista elettromagnetico.

Ora, lo scopo non può praticamente conseguirsi che con la introduzione, nell'uno o nell'altro circuito, di impedenze opportunamente proporzionate in relazione alla frequenza d'impiego, e ciò conduce fatalmente ad un notevole incremento nella impedenza complessiva dei circuiti stessi; la necessità di ridurre nei limiti del possibile quella inserita nella diagonale dello schema del metodo differenziale (2) ha pertanto fatto preferire, dopo qualche tentativo iniziale, la prima delle vie indicate, quella cioè che prevede la « rotazione » della corrente I_l relativa all'avvolgimento S_l.

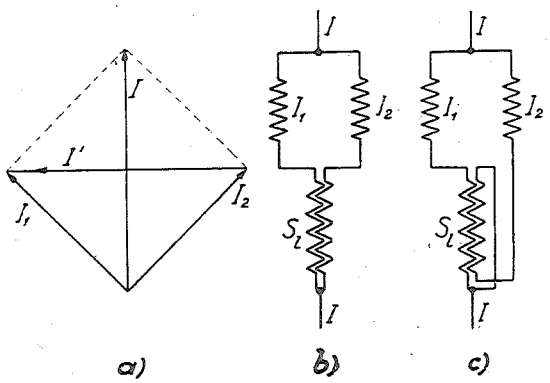

Fig. 4

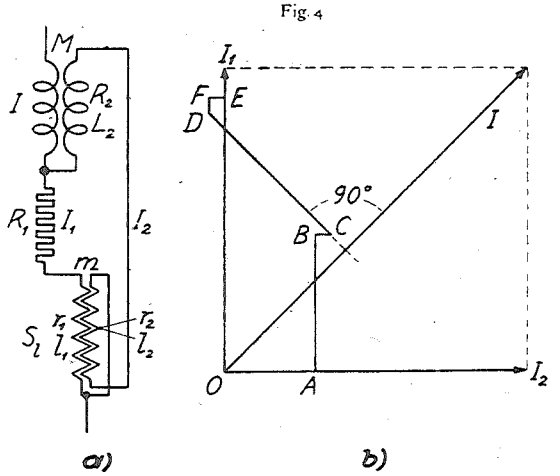

Fig. 5

$O A = (R_2 + r_2) I_2$; $A B = \omega (L_2 + l_2) I_2$; $B C = \omega m I_1$; $C D = \omega M I$; $D F = \omega m I_2$; $F E = \omega l_1 I$; $O E = (R_1 + r_1) I_1$

La idea direttiva che si è seguita è semplice, e può essere così presentata. Data (fig. 4 *a*) una generica corrente I, si immagini di decomporla in due componenti, eguali ed in quadratura tra di loro, I_1 e I_2, e di far percorrere da tali due componenti l'avvolgimento S_l, all'uopo sdoppiato in due parti identiche e per quanto possibile compenetrate tra loro (fig. 4 *b*). È evidente che in tali condizioni, il complesso dei due avvolgimenti equivale, agli effetti del campo creato, ad un unico solenoide percorso dalla corrente risultante I; ma se (fig. 4 *c*), con un apposito commutatore, si invertono gli attacchi di una delle due metà di S_l, il solenoide si comporta nel suo complesso come se fosse percorso da una corrente I' (fig. 4 *a*) pari alla differenza vettoriale di I_1 e I_2 e che risulta ovviamente uguale ad I, ma rispetto a questa sfasata di 90° in anticipo. Si noterà peraltro che, agli scopi che qui interessano, la condizione di eguaglianza e di quadratura delle due componenti I_1 e I_2, è necessario che sia soddisfatta *solo* per la configurazione di circuito rappresentata in fig. 4 *c* ; chè, per ciò che riguarda quella di fig. 4 *b*, qualunque sia la relazione di grandezza e di fase tra I_1 e I_2, la loro somma è ovviamente in ogni caso pari ad I (3).

La risoluzione del nostro problema, si riduce quindi a trovare il modo di decomporre una corrente in due componenti eguali ed in quadratura tra di loro; problema che può notoriemente risolversi in parecchie maniere, ma che si trova qui abbastanza rigidamente vincolato dalla necessità di non aumentare al di là dei limiti concessi la prestazione del trasformatore campione.

Il circuito che si è all'uopo prescelto, dopo qualche prova orientativa, è rappresentato in fig. 5 *a*, nella quale sono chiaramente indicati i simboli dei parametri da prendere in considerazione.

In fig. 5 *b* è tracciato il diagramma vettoriale relativo al circuito, con conferimento alla posizione invertita di uno degli avvolgimenti del solenoide S_l.

Proiettando le spezzate i cui lati rappresentano le cadute di tensione e le *fem* relative ai due rami costituenti il circuito sulle direzioni di I_1 e I_2, si ottengono le relazioni che consentono la determinazione dei valori da assegnarsi ai parametri R_1 ed ωM affinchè la voluta relazione di grandezza e di fase tra le due componenti I_1 ed I_2 sia soddisfatta:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega M = R_2 + r_2 + \omega (l_1 + m) \\ R_1 = \omega (L_2 + l_1 + l_2 + 2 m) + R_2 + r_2 - r_1 \end{array} \right. \qquad (5)$$

od anche, tenendo conto che praticamente $r_1 \cong r_2 = r$; $l_1 \cong l_2 \cong m = l$;

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega M = R_2 + r + 2 \omega l \\ R_1 = \omega (L_2 + 4 l) + R_2 \end{array} \right. \qquad (6)$$

3. Dello strumento descritto sommariamente al § 1 nel suo concetto informativo, è stato realizzato un esemplare sperimentale, la cui costituzione è rappresentata in fig. 6 *a-b-c*, che ne dà le tre sezioni caratteristiche e che mostra nel contempo le dimensioni (in mm) conferite al dispositivo.

L'ago *a*, di materiale ferromagnetico è montato su di un sol perno, analogamente a quanto si pratica per i noti strumenti « unipivot ». Esso gioca con modesto intraferro entro una camera chiusa, allo scopo di conferire all'equipaggio un certo smorzamento; ed intorno alla camera stessa, esternamente ad essa, è disposto l'avvolgimento S_l, costituito da tre strati di filo di rame da 0,5 mm, rivestito in seta (complessivamente 51 spire). Ago mobile ed avvolgimento sono raccomandati ad una semplice struttura metallica che termina lateralmente con due dischi di bachelite $t - t$ i quali valgono ad assicurare il centramento del complesso entro il supporto *b* in ebanite, del doppio avvolgimento S_l; una vite *v* permette di bloccare la struttura interna, facilmente sfilabile rispetto alla esterna.

L'avvolgimento S_l che crea la coppia direttrice è costituito complessivamente da 112 spire di filo di rame da 1,4 mm isolato in cotone e verniciato; dei quattro strati che costituiscono l'avvolgimento il primo ed il quarto sono in serie tra loro, ed altrettanto il secondo ed il terzo. Le sezioni così realizzate, costituiscono le due metà in cui — come si è detto — è sdoppiato l'avvolgimento.

Si noterà che la uniformità di ciascuno strato è, per così dire, interrotta nella zona centrale da una nervatura anulare di sezione rettangolare che fa corpo col supporto. La ragione di tale disposizione è da ricercarsi

(2) Vedasi A. BARBAGELATA: *Sui comparatori per la prova dei trasformatori di misura.* - « Rendiconti della XI, riunione dell'A. E.I. », 1935, parte II, pag. 31.

(3) La osservazione ha la sua importanza pratica dato che, per il gioco della mutua induzione che affetta le due metà nelle quali è suddiviso l'avvolgimento S_l, la inversione degli attacchi di una delle due metà stesse ha il suo effetto — se pure, all'atto pratico, modesto — sul regime delle correnti.

nella necessità di trovare, nella citata nervatura, la sede adatta al foro f (fig. 6 *b-c*) attraverso il quale passa il fascetto luminoso che riflettendosi sullo specchietto s direttamente fissato sull'ago a, consente la lettura per proiezione dei piccoli spostamenti angolari subiti dall'ago stesso.

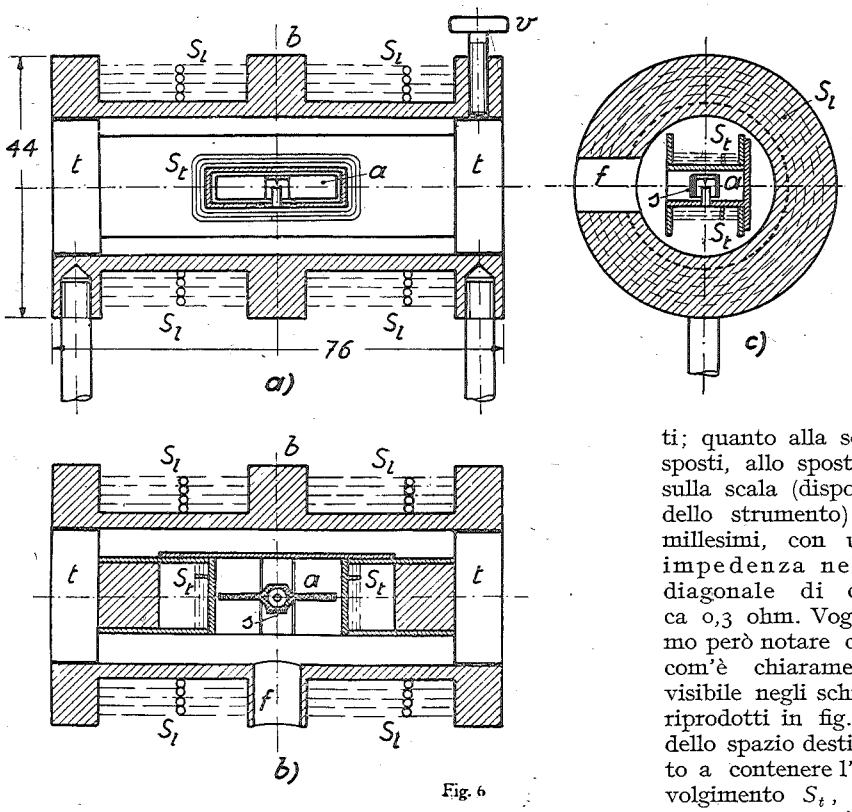

Fig. 6

Il dispositivo così realizzato è stato sottoposto ad una lunga serie di prove, ed ha mostrato di seguire nel suo comportamento in modo praticamente perfetto la legge generale espressa dalla (4); le deviazioni da quella legge non raggiungono invero, con correnti nell'avvolgimento S_l maggiori di 1 A, una unità per cento, il che è da ritenersi largamente sufficiente per gli scopi ai quali il dispositivo stesso è adibito. Qualche maggiore incertezza si è notata in corrispondenza della corrente di 0,5 A che notoriamente costituisce il limite inferiore nei riguardi delle garanzie che sogliono richiedersi per i trasformatori di corrente; ed il fatto si spiega facilmente se si tiene presente che, riducendosi allora grandemente la entità della « coppia direttrice specifica », gli attriti, necessariamente notevoli in una costruzione realizzata senza particolari cautele e con mezzi di fortuna, fanno sentire in maggior proporzione i loro effetti.

Per ciò che riguarda la realizzazione del circuito descritto al § 2, nulla vi è da notare di particolare; accenneremo solo che la induzione mutua M (fig. 5 *a*) è stata realizzata su nucleo magnetico aperto e che l'effetto delle variazioni di permeabilità non si è manifestato in modo apprezzabile, onde il circuito stesso, nella gamma di correnti che interessano nella presente applicazione, ha mostrato di rispondere pienamente al suo scopo.

4. La fig. 7 dà uno schema complessivo del nuovo tipo di comparatore nel suo insieme; per ragioni di semplicità si sono omessi gli organi comuni anche ad altri tipi di apparecchiature, come l'amperometro per la misura della corrente, il dispositivo per il riconoscimento del senso di connessione dei secondari, interruttori, deviatori, ecc., che non presentano particolarità degne di nota.

L'uso è estremamente semplice, e discende senz'altro da quanto si è venuti via via esponendo. Eseguiti i collegamenti del trasformatore campione TA_c e di quello sotto verifica TA_x e posto l'invertitore i nella posizione η non si ha che variare gradualmente la corrente primaria I_1 e leggere, in corrispondenza di ogni valore di essa, direttamente sulla scala dello strumento, l'errore di rapporto percentuale $\eta\%$ in grandezza e segno; ripetendo la medesima semplicissima operazione con l'invertitore i nella posizione ε, si rileverà senz'altro, sempre in grandezza e segno, l'errore d'angolo $\varepsilon\%$. Ben inteso che, come in ogni altro tipo di comparatore, gli errori così letti andranno poi corretti in relazione agli errori propri del campione.

Nel modello sperimentale descritto, la prestazione complessiva richiesta al campione è di circa 10 VA; essa potrebbe però essere notevolmente ridotta con un più accurato proporzionamento delle singole parti; quanto alla sensibilità, con gli avvolgimenti predisposti, allo spostamento di 1 mm dell'indice luminoso sulla scala (disposta a circa m 0,70 dallo specchietto dello strumento) corrisponde un errore di 2,25 decimillesimi, con una impedenza nella diagonale di circa 0,3 ohm. Vogliamo però notare che, com'è chiaramente visibile negli schizzi riprodotti in fig. 6, dello spazio destinato a contenere l'avvolgimento S_t, appena una metà è stata sfruttata; a parità di sensibilità, la impedenza della diagonale potrebbe quindi senza difficoltà essere all'incirca dimezzata; e se per contro si tollerasse un raddoppiamento della impedenza, il che sarebbe più che accettabile con trasformatori di classe pregiata [4], la sensibilità potrebbe raddoppiarsi e raggiungere all'incirca il millimetro per decimillesimo.

Roma, agosto 1946.

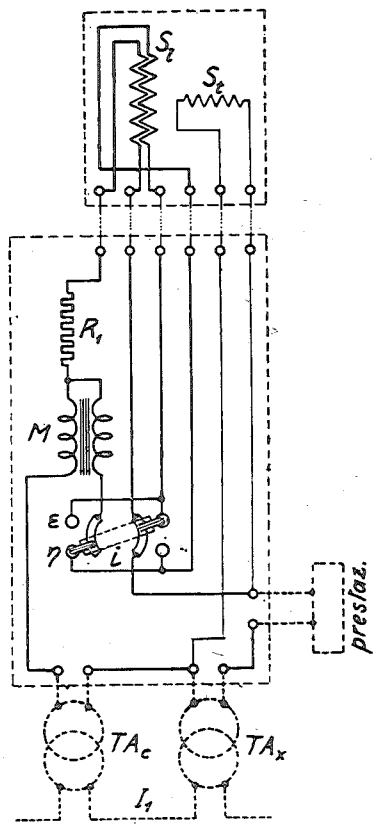

Fig. 7

[4] Vedi nota [1].

Molte importanti Associazioni, a differenza dell'A E I, chiedono ai loro Soci il pagamento della quota annuale nell'autunno dell'anno precedente. Eseguire prontamente il versamento della quota vuol dire facilitare tutto il funzionamento amministrativo dell'Associazione

GUGLIELMO MARCONI E IL CINQUANTENARIO DELLA RADIO (*)

GIANCARLO VALLAURI

Viene esposta per sommi capi la storia della radio nel suo cinquantennio di vita e viene illustrata l'opera di Guglielmo Marconi. Si ricordano le prime prove, l'uso dell'antenna e della presa di terra, il coesore, le trasmissioni sul mare, la sintonia, il superamento dell'Oceano, la funzione dell'alta atmosfera, il detector, il salvataggio della vita in mare, le grandi stazioni a scintilla, l'avvento della valvola termoionica, le onde continue e la radiotelefonia, la corsa alle onde lunghe bruscamente interrotta dal trionfo delle onde corte, ed infine l'immenso sviluppo della radio e delle sue innumerevoli applicazioni durante l'ultima grande guerra.

GLI INIZI.

Cinquant'anni or sono, il 7 luglio 1897, veniva concesso ufficialmente il brevetto inglese n. 12039 dal titolo « Telegrafia senza fili per mezzo di onde elettriche ».

Chi ha vissuto questo cinquantennio, ha l'impressione che, col trascorrere del tempo, l'importanza dell'evento sia andata sempre crescendo nel giudizio dell'umanità, e si chiede se, quando saranno decorsi non decenni, ma secoli, la data non sarà per avventura prescelta a segnare l'inizio di un'era.

Il brevetto era stato chiesto poco più che un anno innanzi (6 giugno 1896) da un giovane Italiano, appena ventiduenne, venuto a bella posta in Gran Bretagna per tentar di mettere in pratica ed in valore l'idea, che da tempo occupava la sua mente e formava oggetto del suo lavoro. Quando era sorta codesta idea? Forse era balenata a quel giovinetto, che appariva a taluno ribelle e quasi refrattario al tirocinio scolastico dei suoi coetanei, quando a Livorno aveva disteso fra il tetto e l'interno della casa un circuito elettrico, capace di segnalare, con l'entrata in azione di una suoneria, lo scoppio di un vicino temporale. Era poi diventata l'idea dominante nel 1894, dopo la villeggiatura su le Alpi biellesi, dove, insieme con l'annuncio della morte prematura di Enrico Hertz, egli aveva potuto leggere qualche scritto su l'opera di lui.

La teoria del Maxwell (formulata nel 1867) segna una pietra miliare nella storia della scienza e costituisce forse l'esempio più mirabile di conquista, compiuta dall'umano ingegno mediante il coordinamento e l'interpretazione dei risultati dell'esperienza alla luce del ragionamento matematico. Quella teoria fece prevedere, in contrasto con le idee allora da tutti seguite, come le azioni elettromagnetiche dovessero impiegare un certo tempo per propagarsi da un punto ad un altro e come, di conseguenza, un fenomeno elettrico oscillatorio dovesse dar luogo nello spazio circostante alla produzione di onde. La conferma sperimentale, necessaria a convalidare la nuova teoria e tutt'altro che facile ad attuarsi si era fatta attendere per un ventennio, ma era poi stata fornita in modo decisivo dal Hertz (1888) con la dimostrazione dell'esistenza e delle proprietà delle onde elettromagnetiche.

La descrizione di codeste prove del Hertz si era fitta in capo a quel giovane; sì che, rientrato a Bologna, egli prese ad armeggiare con grande impegno e con ingegnosità inesauribile su analoghe esperienze nella villa paterna del Grifone (Pontecchio). Di là scendeva anche di tempo in tempo a Bologna per visitare il laboratorio di fisica dell'Ateneo, ove il Righi compieva ed illustrava ai discepoli i suoi studi magistrali su l'ottica delle oscillazioni elettriche. Furono, dal 1894 al 1896, due anni di lavoro intenso, appassionato, irto di difficoltà, reso amaro talvolta da improvviso scoraggiamento, e pure segnato passo passo da sempre nuove geniali intuizioni e da nuovi successivi progressi. Da quella stanza dell'ultimo piano della villa di Pontecchio i segnali cominciarono a poter essere captati a distanze sempre più grandi; e ciò grazie agl'innumerevoli accorgimenti adottati, sia per la modifica dell'oscillatore e del rivelatore, sia sopra tutto per il decisivo passaggio al collegamento con l'antenna da un lato e con la terra dall'altro. Si giunse infine alla prova di trasmissione ad una distanza di 1700 m, dapprima fra due punti direttamente visibili fra loro, poi, e fu la prova più emozionante, fra punti separati da una interposta collina. Parve allora necessario assicurare una protezione all'idea e chiedere un primo brevetto. Invero l'invenzione della radiotelegrafia nella sua forma iniziale, anche se tale forma può apparirci oggi soltanto come l'embrione della superba pianta futura, era ormai compiuta.

L'INVENZIONE.

Vera invenzione. È stato rilevato che gli elementi necessari a compierla eran già pronti. Maxwell (1867) aveva dato la sua teoria. Hertz (1888) aveva, si può dire, fatto toccar con mano le oscillazioni elettriche e le onde elettromagnetiche da esse generate; ed eseguendone la riflessione aveva ottenuto onde stazionarie, constatando che la velocità di propagazione era quella medesima della luce. E Calzecchi Onesti (1884) aveva ideato e reso noto il suo coesore; Branly (1890) vi aveva applicato il dispositivo decoerizzante; Lodge (1894) aveva eseguito prove di azione a distanza; Popoff (1895) infine aveva usato antenna, terra e coesore per rivelare temporali lontani.

All'osservatore superficiale può parere che ci fosse già tutto, che si potesse dire quel che si è detto in altri casi: l'invenzione era ormai matura; l'idea veniva in certa guisa spontanea e c'era motivo di aspettarsela da un giorno all'altro; se non l'avesse concepita lui, altri vi sarebbero giunti ben presto.

In realtà, v'era tanto poco motivo di aspettare quell'annuncio, che esso fu accolto, com'è ben noto, con la più scettica e diffusa incredulità. Tale accoglienza è la miglior prova, non soltanto della genialità del trovato, sì anche della potenza d'intuizione dell'inventore; la quale sola può spiegare la sua fede nel successo e la sua esemplare tenacia, allora e poi, nell'affrontare difficoltà ed ostacoli di ogni genere.

In contrasto con quella superficiale osservazione, vien fatto invero di chiedersi, quanto tempo l'umanità avrebbe dovuto ancora attendere la radio, se non fosse vissuto quell'inventore; ed anche di rilevare, che molto difficilmente le invenzioni moderne, appunto perchè frutto di lavoro necessariamente molteplice, portano il nome, solo ed incontrastato, di un loro autore; laddove indubbiamente, in ogni paese ed in ogni tempo, non si può nè si potrà dire radiotelegrafia senza dire Guglielmo Marconi.

LE PROVE SUL MARE.

Cinquant'anni or sono furono compiute alla Spezia per mezzo della nave « San Martino » memorabili prove di radiocomunicazioni navali. Pochi mesi innanzi Marconi era stato arruolato nella Marina, per illuminata decisione del ministro Brin, intesa a permettere che egli ad un tempo obbedisse ai suoi doveri di cittadino e con-

(*) Discorso tenuto domenica 30 marzo 1947 nel teatro San Carlo di Napoli, per invito del Comune e del Comitato marconiano, alla presenza della vedova e della figlia di Guglielmo Marconi e con l'intervento della rappresentanza del governo, delle autorità e del popolo napoletano.

tinuasse a sviluppare e ad affermare, con grande vantaggio per la Patria, la sua invenzione. Risale così a quell'anno il primo legame fra la Marina e Marconi, cioè fra la Marina e la radiotelegrafia, legame che si fece sempre più intimo col volgere del tempo. Di esso sono fieri quanti hanno il privilegio di appartenere alla Marina e sommamente noi vecchi, cui è stato dato di assistere al primo diffondersi della radio e di seguirne poi tutto lo sviluppo, cercando anche talvolta di contribuirvi modestamente con le nostre piccole forze. Ho rivisto recentemente il grafico delle rotte seguite dalla « San Martino » fuori del golfo della Spezia in quel lontano giorno di luglio del 1897, in cui per la prima volta si trasmise un radio segnale sul nostro mare, raggiungendo la distanza di poco meno che 20 km.

Primo passo verso la fine dell'isolamento a cui pareva che il navigante fosse legato per sempre, isolamento che noi abbiamo ancora provato sugli ultimi velieri al principio del secolo, quando ci avvenne (se pure è lecito ricordare modesti episodi individuali) di apprendere, dopo molti giorni di mare, appuntando i cannocchiali sui gruppi di bandiere che un semaforo finalmente avvistato alzava l'uno dietro l'altro per noi, la notizia dell'elezione di Pio X al pontificato. O quando, durante una traversata di oltre un mese di Oceano, sempre sotto vela, provvedevamo alla determinazione del tempo esatto — indispensabile per la condotta della navigazione ed ora tanto agevolmente diffuso per radio — attraverso quelle delicate ed appassionanti misure di distanze lunari, che i naviganti di oggi hanno ormai dimenticato. O quando infine, compiuta quella medesima traversata oceanica, apprendemmo le notizie di un mondo da cui per tanto tempo eravamo rimasti del tutto staccati e fra esse l'annuncio della guerra fra Russia e Giappone.

Verso la grande prova.

Gli anni che seguirono, furono, per la radio e per il suo creatore, anni di difficoltà e di lotte, ma anche di affermazioni e di successi. Quando colui che concepisce una nuova idea è uno studioso, avvezzo da anni alla vita raccolta del laboratorio e appassionato soltanto all'indagine scientifica, è quasi impossibile che egli medesimo sia capace di trapiantarla e di spingerla efficacemente nel campo dell'attuazione, cioè nel mondo dell'industria e degli interessi economici. È stato detto, non a torto, che la vocazione dello scienziato e la professione dell'inventore sono fra loro incompatibili. Anche sotto tale aspetto la figura di Marconi ci apparisce singolare ed il suo genio, più ancora che da studio accademico e metodico, si conferma animato, come è proprio del genio, da mirabile intuito, e sostenuto da invincibile tenacia.

Di quegli anni è un primo decisivo progresso, anch'esso pienamente marconiano. Il sorgere di un numero crescente di stazioni imponeva il problema della loro convivenza, cioè della riduzione dei disturbi reciproci, i quali avrebbero ben presto reso impossibile un ulteriore diffondersi del nuovo mezzo di comunicazione. Bisognava trar profitto dalla possibilità di produrre onde di lunghezza diversa per ottenere ad un tempo, che ciascuna emissione si servisse di una sua onda, resa sempre più pura e definita, e che nel ricevere i segnali vi fosse modo di discriminarli fra loro, appunto in base alla lunghezza d'onda, così da escluderli tutti all'infuori di quello voluto. Ciò si ottenne — si tratta del famoso brevetto 7777 del 1900 — dividendo fra due circuiti diversi e mutuamente accoppiati il compito di produrre le oscillazioni e quello di irradiare le onde; e similmente, all'altro estremo, il compito di captare le onde e di comandare l'apparecchio ricevitore.

Intanto, fra contrasti d'ogni genere e lotte di idee e di interessi, la radio si preparava, per volere di Marconi, a compiere il passo decisivo, il superamento di un sol balzo della distanza oceanica tra il vecchio e il nuovo continente. A Poldhu, in Cornovaglia, Marconi aveva fatto sorgere la stazione destinata al grande tentativo. Era già pronta, quando una furiosa tempesta distrusse l'antenna. Fu ricostruita. E Marconi partì per l'America. Era la prima volta — a 27 anni — che intraprendeva un lungo viaggio senza colei, che sui primordi era stata sola ad aver fiducia nel suo genio, e l'aveva sostenuto e incoraggiato, e aveva nutrito e rafforzato in lui la fede nel successo e la tenacia nel lavoro: sua madre. Nella grandezza di Marconi ha anche una sua parte, che non può essere taciuta, il miracolo dell'affetto e dell'intuito materno.

Il superamento dell'Oceano.

A San Giovanni di Terranova, verso il mezzodì del 12 dicembre 1901, Marconi ascoltò, debole ma assolutamente sicura, la serie di quei brevi tre punti, che costituiscono la S nell'alfabeto telegrafico Morse. Che importa, se ragioni di concorrenza furono subito legalmente invocate dalle compagnie dei cavi per far cessare l'esperimento; sì che Marconi non potè più alzare il cervo volante cui aveva affidato il filo della sua antenna di ricezione? La conquista dello spazio era compiuta.

Quante volte non si è discusso sul modo migliore di distinguere e di definire invenzione e scoperta. Tutte le conoscenze fisiche allora note facevano ritenere per certo, che le onde elettromagnetiche dovessero propagarsi presso che in linea retta e non potessero in alcun modo piegarsi a seguire per lunghissimo tratto la curvatura della superficie terrestre. Fisici e matematici avevano perentoriamente affermato codesta impossibilità. Marconi scoprì, che la loro affermazione non era fondata, che cioè doveva esservi qualcosa d'altro all'infuori di ciò che essi, nella loro previsione, avevano messo a calcolo. Ciò fu vera scoperta.

Si intuì allora che un'azione, prima insospettata, doveva intervenire per ripiegare le onde verso la terra e per costringerle a seguirne la curvatura; e si comprese che tale azione non poteva essere esercitata, se non dagli strati più alti dell'atmosfera. Dopo il successo di Marconi, cioè come conseguenza della sua scoperta, due illustri fisici, Kennelly e Heaviside, concepirono, l'uno all'insaputa dell'altro, l'ipotesi che gli alti strati dell'atmosfera fossero ionizzati per effetto della radiazione solare e capaci pertanto di respingere verso il basso le onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda non troppo breve.

Da allora gli studi su le proprietà dell'alta atmosfera sono diventati un ramo attraente e grandioso della scienza, che si serve appunto delle onde di Marconi come di mirabili sonde per esplorare gli spazi a distanze di centinaia di kilometri dal suolo. E proprio in questi ultimi tempi, proprio in questa Napoli, per opera dell'Istituto di Fisica Tecnica, si sono iniziate coraggiosamente e si svolgono tuttora, con la collaborazione di organismi scientifici di varie parti d'Italia, interessanti ricerche su di un suggestivo fenomeno di azione reciproca fra due onde diverse; il quale si manifesta per l'appunto, quando esse attraversano insieme gli strati ionizzati dell'alta atmosfera.

Nè l'esistenza e le proprietà di codesti strati debbono darci la sensazione di essere inesorabilmente chiusi da essi nel nostro mondo e fisicamente separati dal resto dell'universo; chè la loro azione sulle onde dipende dalla lunghezza di queste e, con l'uso di onde sempre più corte, possiamo sicuramente giungere a perforare, per dir così, la barriera che ci circonda ed a lanciare, quando lo vogliamo, i nostri segnali verso gli astri; come già è stato fatto.

A Terranova Marconi aveva installato il suo piccolo impianto di ricezione a breve distanza dalla torre, che ricorda la scoperta dell'isola e il primo approdo su le coste settentrionali del nuovo continente da parte di Giovanni Caboto (1497). Il sogno di Cristoforo Colombo e di quei primi navigatori, avventuratisi con mirabile

coraggio a cercar il levante per la via di ponente, cioè il proposito di circuire la terra col lento e fortunoso cammino dei loro piccoli velieri, era stato dai contemporanei giudicato utopia. E utopia era parsa, agli albori di questo secolo, l'idea di Marconi di circuire la terra con le onde elettromagnetiche. A quattro secoli di distanza la nuova utopia si era tramutata, come l'antica, in sicura realtà. L'una volta e l'altra per opera di Italiani.

LA « CARLO ALBERTO » E I MESSAGGI DI GLACE BAY.

Ad ogni modo, fu detto, è vero che su la uniforme distesa dell'Oceano le onde di Marconi son riuscite a percorrere migliaia di kilometri, ma ben diversa sarà la loro sorte, quando vorranno scavalcare catene di montagne e larghi tratti di continente. La risposta venne dalla campagna della « Carlo Alberto », svoltasi pochi mesi dopo (1902) dalla Manica a Kronstadt e di là, circumnavigando tutto il continente europeo, fino allo stretto di Gibilterra, al Mediterraneo ed alla Spezia, e poi di nuovo, traversando l'Atlantico, fino allo sbarco a Sydney nel Canadà. Insieme con risultati decisivi a favore del superamento degli ostacoli naturali e con preziosi dati, acutamente raccolti, sui disturbi atmosferici e sull'influenza del giorno e della notte, quella campagna navale recò ancora, quasi come un dono inatteso, la comparsa del detector magnetico, venuto a sostituire il coesore nella rivelazione dei segnali in arrivo; una delle più geniali e sorprendenti tra le invenzioni marconiane.

La « Carlo Alberto » serbò sempre, fra le navi da guerra, il ricordo e quasi un'impronta speciale del non breve soggiorno di Marconi; e quanti avemmo il privilegio di esservi imbarcati nel nostro servizio navale, non possiamo dimenticare la sua sagoma caratteristica, la sua altissima alberata che sosteneva la grande antenna in forma di ventaglio, e sopra tutto l'atmosfera di bordo ove, da quelli che ci apparivano come i misteri ed i problemi della radio, si sprigionava per noi una strana suggestione, e ci spingeva a cercare di penetrarli ed a sognare di contribuire a risolverli.

La « Carlo Alberto » sbarcò Marconi in America, non più a Terranova, donde i diritti acquisiti dai cavi lo avevano bandito, bensì nella Nuova Scozia, dove egli faceva approntare la stazione di Glace Bay. Dopo oltre un mese di tentativi e di prove — non si creda che ogni passo innanzi non abbia richiesto il suo duro contributo di lavoro, d'ingegno e di tenacia — a un anno di distanza dalla prima trasmissione transoceanica, non più la breve lettera S, bensì interi e memorabili messaggi furono inviati; e questa volta da ponente a levante, smentendo l'altra bizzarra affermazione di taluno, secondo la quale, per effetto della rotazione della terra, il propagarsi delle onde sarebbe stato, sì, agevole nel verso del moto del sole, ma ben altrimenti difficile nel verso opposto.

In un lustro appena la radiotelegrafia aveva compiuto passi da gigante e, a differenza di quanto è avvenuto per la maggior parte delle invenzioni, che i loro creatori abbandonarono ad altre mani quand'erano appena in forme schematiche, Marconi era rimasto sempre lui alla testa di ogni progresso, lui ideatore ed artefice di ogni nuova conquista. E tale resterà per decenni.

Ma, procedendo innanzi, diviene sempre più difficile il tratteggiare, sia pure in rapida sintesi, il cammino della radiotelegrafia durante il cinquantennio che oggi celebriamo. La schiera degli studiosi e dei tecnici, impegnati nell'impresa, cresceva e cresce ogni giorno; sì che è diventata immensa legione, la cui opera si svolge nei campi più vasti e diversi. Seguirne e descriverne tutto il lavoro è compito superiore ormai alle forze di un solo uomo, quand'anche egli vi dedicasse l'intera sua vita. Conviene qui limitarsi a poche e fugaci pennellate.

IL SALVATAGGIO DELLA VITA IN MARE.

Negli anni che precedettero l'altra guerra fu tutto un succedersi di perfezionamenti tecnici, di cui taluni veramente essenziali. Marconi vide fin dai primordi l'importanza della emissione e della ricezione direttive. È manifesto come, non nel caso di una nave che lancia il suo appello verso un corrispondente di cui ignora la posizione, bensì quando si vuol stabilire un collegamento fra punti determinati, sia grandemente vantaggioso che l'antenna trasmittente irradi quanto più può della sua energia nella direzione voluta e non ne sciupi gran parte in tutte le altre; e che l'antenna ricevente presenti anch'essa proprietà affatto privilegiate nella direzione utile, così da ottenere ad un tempo aumento di efficienza nella captazione del segnale desiderato e più facile esclusione delle azioni perturbatrici provenienti da origini diverse. Marconi vide nelle antenne a gomito la forma adatta a risolvere almeno in parte il problema, nel caso delle lunghezze d'onda che allora si usavano; ed apprezzò subito e mise a profitto il radiogoniometro, ideato dai nostri Bellini e Tosi, per risolvere l'altro essenziale quesito di individuare la direzione da cui proviene un segnale.

L'importanza di tale problema era messa in piena luce da avvenimenti famosi, legati a quella che apparisce pur sempre la più bella fra le benemerenze di Marconi verso l'umanità: il salvataggio della vita in mare. Fin dal 1° gennaio 1901 il piroscafo belga « Princesse Clementine » — che aveva sostituito alla gabbia dei piccioni viaggiatori un modesto trasmettitore radio — incagliatosi sul Ratel Bank, aveva potuto essere sollecitamente soccorso in seguito alla sua chiamata; ma eco immensamente più vasta sollevarono in seguito i famosi episodi del « Republic » (1909), del « Titanic » (1912), e del « Volturno » (1913). Essi suscitarono, in ogni animo umano, entusiastico ed incancellabile sentimento di riconoscenza, verso chi aveva dato modo di salvare centinaia e centinaia di nostri fratelli, sottraendoli alla tragica sorte, riservata alle vittime di così paurose catastrofi. Questa gloria, profondamente umana, esaltata e convalidata da innumerevoli altri esempi durante i decenni successivi, in pace ed in guerra, resterà la più pura e la più bella fra le glorie di Marconi, che per ciò solo già merita appieno il titolo di benefattore dell'umanità.

LA RADIO COLTANO.

Di quegli stessi anni sono le lotte accanite, basate su ragioni di prestigio e sopra tutto su interessi, fra il grande organismo creato da Marconi da un lato, e dall'altro, con scopi fra loro distinti, le grandi ed antiche compagnie dei cavi e le compagnie radiotelegrafiche, sorgenti nei diversi paesi. Di quegli anni è lo sviluppo dei fragorosi scaricatori rotanti a scintilla, che provvedevano a mettere in gioco potenze sempre più grandi, su onde sempre più lunghe, per attuare collegamenti sempre più lontani e meno influenzati dalle ore del giorno e dalle condizioni meteorologiche e stagionali. Del 1907 (18 ottobre) è l'apertura del primo pubblico servizio commerciale transatlantico. Dell'11 novembre 1911, scoppiata appena la guerra di Libia (durante la quale ritrovammo più tardi Marconi a Tobruk), è l'inaugurazione ufficiale della nostra stazione di Coltano, collegata con quella di Massaua e di Mogadiscio; la vecchia stazione di Coltano a scintilla.

Anche qui sorgono ricordi episodici ormai remoti. L'antenna della vecchia Coltano, in conseguenza della corsa alle onde lunghe, era stata ottenuta dalla fusione di due antenne a gomito e presentava perciò l'eccezionale e veramente unica caratteristica di essere eccitata, cioè di ricevere l'energia oscillatoria da irradiare, non già in vicinanza della presa di terra, bensì a metà della sua lunghezza. Una visita di Marconi ci colse mentre stavamo appunto regolando quel passaggio di energia.

Procedevamo metodicamente, spostando passo passo una parte del congegno, mentre da Massaua ci informavano, per ciascuna posizione, della bontà del segnale, così che ci fosse possibile scegliere la regolazione migliore. Marconi ci disse: « Fate molto bene a far così. Credo che, a cose fatte, vi converrà di fermarvi all'incirca in questa posizione ». E indicò la regolazione, che le prove dimostrarono poi come la più conveniente, dandoci un nuovo esempio, ancor oggi non dimenticato, del suo mirabile intuito, fatto di esperienza, di riflessione e di acume.

La valvola termoionica.

In quel primo decennio del secolo sorse e cominciò ad affermarsi, dapprima timidamente, poi sempre più saldamente, un nuovo congegno, destinato a riempire di sè la radiotecnica di oggi e di domani: il tubo elettronico o, come molti lo chiamano, la valvola; quella specie di lampadina elettrica dalle forme più svariate, che è diventata oggi familiare a quanti usano un apparecchio radio, cioè alla grande maggioranza degli uomini civili. Ideata dal Fleming, nell'orbita della compagnia Marconi, la valvola ricevette dal de Forest un perfezionamento di portata grande e decisiva, insospettata dapprima anche dall'inventore medesimo. Dalla funzione di rivelatrice delle oscillazioni, la valvola passò a quella di generatrice e di amplificatrice, e prese a soppiantare i trasmettitori a scintilla, in cui le oscillazioni erano prodotte in tanti gruppi staccati e rapidamente smorzati, quante erano le scariche.

Sorsero così gli apparecchi in cui le oscillazioni sono prodotte in modo continuo; e questi a loro volta offrirono la possibilità di appoggiare a quel flusso continuo di oscillazioni, non più i segnali bruschi e netti dell'alfabeto Morse, bensì le inflessioni della voce umana e le armonie dei suoni.

E nacque la radiotelefonia. La sua prima affermazione si ebbe forse allorchè, nel 1910 (13 gennaio), le valvole de Forest permisero di ascoltare, fuori del Metropolitan di New York, la voce del nostro Caruso. Quando ancora non era scoppiata l'altra guerra mondiale, nel marzo del 1914, Marconi era a bordo della nostra « Regina Elena » e vi compiva prove decisive di radiotelefonia con apparecchi a valvole, raggiungendo portate di parecchie decine di kilometri.

La guerra diede impulso poderoso allo sviluppo delle applicazioni delle valvole in ogni ramo della radiotecnica ed in altri campi. Fu anche formulata (1917) la teoria del loro comportamento esteriore, la quale permise di vederne chiaramente le ragioni e di dedurne con sicurezza le sempre più ampie e promettenti possibilità. La fine della lotta trovò la nuova tecnica grandemente sviluppata, la radiotelefonia uscita dalla fase dei tentativi e preparata a diventare radiodiffusione, la costruzione dei grandi trasmettitori sempre più orientata verso le onde continue. Queste venivano altresì prodotte con l'arco Poulsen o con le macchine a corrente alternata, usate per alimentare l'antenna, sia direttamente, sia con l'intermediario di moltiplicatori di frequenza.

La corsa alle onde lunghe.

Di anno in anno si era accentuata la corsa verso le onde sempre più lunghe; così da preparare quella crisi radicale che ci sembra divida esattamente in due parti eguali il primo cinquantennio della radio. Hertz e Righi avevano dimostrato l'esistenza e le proprietà delle onde, usando lunghezze d'onda dell'ordine dei metri. Marconi, fin dalle sue prime prove, per mettere a profitto i vantaggi offerti dall'antenna e dalla presa di terra, era passato alle decine e poi alle centinaia di metri.

Per accrescere l'energia in giuoco, per arrivare più lontano, per rendersi più indipendenti dalle variazioni diurne di portata, sempre nuove esperienze confermavano la convenienza di usare onde a mano a mano più lunghe. Dai 1800 metri della prima trasmissione transatlantica si era saliti sempre più su, ai 4 e 6 km della vecchia Coltano, ai 9 e 10 della radio San Paolo, ai 10 e 14 della nuova Coltano, ai 20 della stazione di Bordeaux. Ma si era su una via senza uscita.

Potenze in giuoco sempre più grandi, di centinaia e centinaia di kilowatt, antenne sempre più mastodontiche, spese d'impianto e di esercizio sempre più onerose; e ciò non di meno impossibilità di ottenere, alle massime distanze, una sicurezza assoluta di collegamento, paragonabile con quella dei cavi sottomarini. Pareva che, in codesto senso, la radiotelegrafia avesse dato tutto quel che poteva dare.

Si era pensato, sì, a tornare verso le onde corte, ma per le piccole distanze; chè l'esperienza raccolta in un ventennio sembrava indicare l'assoluta necessità di ricorrere ad onde tanto più lunghe, quanto maggiore fosse la distanza da superare.

In realtà non si pensava che il netto peggioramento di portata, constatato col raccorciare le onde giù giù fino a lunghezze di forse duecento metri, potesse esser seguito da uno straordinario miglioramento, quando ci si fosse spinti coraggiosamente più in là, verso onde sempre più corte. Eppure le onde di qualche decina di metri erano ormai non troppo difficili a prodursi mediante le valvole e offrivano preziose possibilità di essere irradiate e raccolte con efficienti antenne di piccole dimensioni, e per di più dirette in fasci ristretti nel senso voluto.

Già durante la guerra (1916) Marconi aveva compiuto alcune esperienze a Livorno con onde ancora più corte (circa 3 m) fra un motoscafo e la costa. Ma la verità è, che nessuno pensava possibile stabilire comunicazioni a grande distanza mediante onde della lunghezza di qualche decametro.

La svolta.

Nel Comitato tecnico internazionale, che si riunì a Parigi nell'estate del 1921 per trattare le questioni riguardanti la radio, fummo tutti d'accordo nel raccomandare l'uso di onde tanto più lunghe quanto più grande la distanza da coprire, e ci occupammo delle onde decametriche per tutt'altro scopo, in apparenza assai più modesto.

La prima guerra mondiale, col grandioso impulso dato alla radiotecnica, aveva avvicinato ed interessato ad essa un numero assai rilevante di ex militari; era sorta così, specialmente nei paesi anglosassoni, la vasta categoria dei radiodilettanti. Il loro appassionato sperimentare e le comunicazioni che essi si scambiavano reciprocamente, nei paesi che con illuminato criterio non avevano ciò proibito, erano motivo di interferenza e di disturbo per i radioservizi militari, civili e commerciali. Perciò, invitati ad assegnar loro particolari gamme di lunghezze d'onda, non sapemmo far di meglio che relegarli sulle onde decametriche.

Ed ecco che ben presto, già nell'autunno e nell'inverno di quel medesimo anno, cominciarono ad annunciarsi risultati stupefacenti. Deboli emissioni, compiute per corrispondere fra amici dilettanti a distanze modeste, venivano registrate da sperimentatori in ascolto su altri continenti, in luoghi immensamente lontani; mentre ad altri ascoltatori, situati a distanze intermedie, il segnale sfuggiva completamente, quasi vi fossero ampie zone di silenzio, scavalcate dalle onde.

Anche questa volta la spiegazione di un fatto tanto inatteso era da cercarsi nella funzione dell'alta atmosfera. Le onde corte, trascurate e quasi disprezzate, rivelavano improvvisamente mirabili possibilità e toglievano la radio da un punto morto, aprendole la via ad una ripresa di fervido sviluppo, che non ha più avuto soste e continua tuttora sempre più intenso.

In una storica conferenza tenuta il 22 giugno 1922 a

New Work — vi era giunto col panfilo « Elettra », su cui già da due anni trascorreva il tempo dedicato alle sue esperienze — Marconi affermò sinceramente, che per 25 anni si era seguita una via errata insistendo nell'uso delle onde lunghe, ed annunciò che, già da tempo orientato verso le onde corte, avrebbe preso a sperimentarle su le grandi distanze, mettendo altresì a profitto la preziosa possibilità di dirigerle a fascio.

La svolta fu decisiva e il mutamento radicale. Due anni dopo già si collaudavano i primi collegamenti della rete imperiale britannica, attuata col sistema delle onde corte a fascio; e le grandi stazioni a onde lunghe si addormentavano in placido riposo col titolo eufemistico di impianti di riserva, fino a scomparire poi del tutto sotto la bufera della nuova guerra. Unico privilegio rimasto alle onde lunghe: la loro attitudine a penetrare alquanto sotto la superficie del mare ed a permettere quindi la ricezione di segnali da parte di sommergibili immersi.

La radiodiffusione.

Frattanto, mentre si allacciavano i collegamenti radiotelefonici su distanze sempre maggiori, fino a trasmettere la voce tra i continenti più lontani — ciò che la tecnica dei cavi oceanici non aveva fino ad allora neppure concesso di sognare — si affermava con prodigiosa rapidità in tutto il mondo la radiodiffusione, fenomeno grandioso, di cui la portata umana e sociale soverchia l'importanza dei molteplici aspetti tecnici, pur pieni di interesse.

Di tutte le forme di attività spirituale che agli uomini è dato di svolgere l'uno verso l'altro, la comunicazione del pensiero è certamente la più nobile. La possibilità offerta dalla radio di trasmettere la voce viva simultaneamente a milioni di ascoltatori, a popoli interi, resta pur sempre un fatto grandemente meraviglioso, anche se l'esperienza quotidiana ce lo fa ormai apparire semplice e consueto. E già da alcuni lustri alla radiodiffusione si è aggiunta, con promesse di futuri mirabili sviluppi, anche la radiovisione.

La grande guerra.

Che cosa abbia recato la nuova tremenda guerra mondiale nel campo della radio è ancor oggi difficile dire. È certo che, come l'altra guerra segnò il completo affermarsi e diffondersi dei tubi elettronici, così anche questa ha provocato vasti e grandiosi progressi, nelle direzioni più varie e più inattese; e le notizie di ciò, sia per la segretezza di cui talune sono tuttora circondate, sia per le difficoltà di documentazione oggi esistenti, affiorano e ci giungono ancora qua e là incomplete e mal certe.

La marcia verso le onde sempre più corte continua travolgente con la creazione di una tecnica completamente nuova, che si dimostra capace di superare ogni più serio ostacolo. Dalle onde di decametri e di metri, per non parlare che delle così dette onde corte, si è passati a quelle di decimetri, di centimetri, di millimetri ed oltre. Ciò significa produrre oscillazioni elettriche non più in numero di 20 000 al secondo, come si faceva nella vecchia Coltano ad onde lunghe, nè di 20 milioni al secondo, come nei collegamenti transoceanici odierni, bensì di centinaia di milioni, e di miliardi e decine di miliardi.

Le onde prodotte dai nostri oscillatori elettrici sono della medesima natura delle onde luminose e delle radiazioni oscure. La differenza è soltanto nella lunghezza d'onda, che per la luce è sui decimillesimi di millimetro, cioè ancora di gran lunga più breve che per le più brevi onde radio. Ma i fisici hanno già da tempo compiuto la saldatura su una gamma intermedia di lunghezze d'onda, che essi sanno produrre ad un tempo per via elettrica e per via termica. Fra l'altro, accanto ai mezzi radio, hanno messo a profitto per scopi bellici di scoperta anche le radiazioni infrarosse che si sprigionano da un bersaglio, come effetto della sua temperatura.

Le applicazioni della radio, studiate per la guerra e durante la guerra, sono innumerevoli. Tra gli apparati ormai più famosi sono i radiotelemetri ed i radiolocalizzatori, i così detti radar, che, nelle forme più svariate, permettono di individuare uno scafo od un velivolo, altrimenti affatto invisibile, investendolo con un fascio di onde e raccogliendo quelle che il bersaglio riflette. Si giunge ad avere su di uno schermo, pur nel buio assoluto o nella nebbia più fitta, un panorama di tutto ciò che ci circonda in un determinato settore o al di sotto del nostro velivolo e fino a distanze notevoli. Si giunge a determinare, esclusivamente per via radio, la propria posizione sul mare o nel cielo anche in mezzo all'Oceano, a correggere la propria rotta, ad evitare collisioni nelle zone di maggior traffico. Si dà modo, a chi governa gli aeroporti, di avere in ogni istante sott'occhio un quadro esatto e completo della giostra aerea che, pur tra le nubi più dense, si svolge in tutta la zona sovrastante, e di dirigere quel molteplice movimento, di guidare apparecchi alla sicura partenza ed alla presa di quota, altri all'ordinato atterraggio, altri ancora all'indugio su rotte di attesa, al sicuro da collisioni, fino al momento di atterrare. Altri mezzi, non tutti conosciuti appieno, furono ideati ed attuati col risultato di paralizzare di colpo la campagna sottomarina. Ed apparecchi radio risolsero il problema di provocare lo scoppio di un proiettile lungo la sua traiettoria, proprio nell'istante in cui esso, pur senza investire il bersaglio aereo contro cui era diretto, passa a distanza utile per poterlo abbattere o danneggiare mediante l'esplosione. Anche codeste ingegnose e tecnicamente mirabili spolette hanno avuto la loro parte decisiva nell'assicurare il successo dei vincitori. Innumerevoli altri aspetti dei progressi compiuti, i quali, come sempre accade, si stanno trasferendo verso applicazioni non belliche nelle direzioni più diverse, potrebbero essere rammentati; ma il quadro è ormai così ampio, che sarebbe impresa vana cercare di tratteggiarlo, sia pure con pochi tocchi.

L'epilogo.

L'immenso lavorìo dell'ultimo decennio, il lavorìo grandioso e tragico della scienza e della tecnica a servizio della distruzione e della guerra, non è stato visto da Marconi col suo occhio mortale, anche se tante direttrici dei nuovi progressi erano già state intuite e additate da lui. Il cinquantenario della radio è anche il decennale della dipartita del suo creatore, il decennale di quel triste mattino del 20 luglio 1937, in cui si diffuse fulmineo per l'Italia e per il mondo l'annuncio della sua fine improvvisa e immatura.

Rievocato, in modo pur troppo imperfetto e incompiuto, il cammino della radio nel mezzo secolo che ora si chiude, l'animo nostro si raccoglie in se stesso; e ancora una volta sente il bisogno di volgersi a chi la nuova conquista per intiero impersona e ci sembra sia ancora alla testa di tutti noi per guidarci e per spingerci a continuarla. L'impresa ha un suo contenuto spirituale ed umano che ne costituisce la maggiore grandezza, ed illumina di luce particolare la figura del suo promotore ed artefice. Nobile figura, non soltanto di studioso e di tecnico, sì anche di tenace lottatore nelle battaglie della vita, di generoso cittadino, rimasto fedele alla Patria anche quando ogni circostanza esteriore pareva spingerlo o almeno tentarlo a distaccarsene, pronto a servirla come soldato, come diplomatico, come esponente dell'alta cultura, mettendo a servizio dell'Italia il proprio mondiale prestigio, egualmente calmo e padrone di sè di fronte alle difficoltà più ardue ed in mezzo ai più grandi onori, e buono sempre di semplice e naturale bontà, così nella vita familiare, come nelle relazioni con gli amici e con i compagni di lavoro.

Sono passati dieci anni, pieni di terribili eventi, che ci fanno apparire quel giorno come ormai tanto remoto. Ma, appunto per effetto delle dure vicende, il ricordo e

il rimpianto dell'Italia e del mondo restano più che mai vivi; e si tramutano in solidarietà spirituale verso chi gli fu più intimamente dappresso nella dolce vita di casa; si tramutano in incitamento ed in luce di speranza per noi tutti. L'italianità di Marconi, e della schiera innumerevole dei geni sbocciati sotto il nostro cielo, è la prova di quel che noi, itala gente dalle molte vite, possiamo, ed ora più che mai dobbiamo, chiedere ed imporre a noi stessi, secondo le forze di ciascuno. Nella fede dei padri, nel culto delle memorie, nella rievocazione dei grandi, uniamoci finalmente in generosa fraternità e lavoriamo con fervore per il bene comune. Ascolti il buon Dio la nostra invocazione e ci guidi e ci aiuti su la via della rinascita.

IMPREGNAZIONE DELL'ISOLAMENTO DEGLI AVVOLGIMENTI DELLE MACCHINE ELETTRICHE ROTANTI CON VERNICI ISOLANTI SINTETICHE

CLAUDIO BENCO

Fatta una rapida rassegna dei vari tipi di vernici isolanti ed accenno sui composti silico-organici, viene esposto il comportamento delle vernici sintetiche.

Esaminati i tempi e le temperature di essiccamento necessarie a questi tipi di vernici nonchè le fasi di un trattamento di verniciatura ad immersione a pressione ambiente con indurimento in forno, viene messa in evidenza l'influenza della viscosità sui risultati che si ottengono.

La nota si chiude trattando dell'impregnazione con il procedimento in autoclave e con alcune considerazioni sulla verniciatura dell'isolamento degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti.

PREMESSA.

Dalle notizie che ci giunsero attraverso la stampa tecnica sul Congresso dell'American Institute of Electrical Engineers, tenutosi nel gennaio 1945 a Nuova York, veniamo ad apprendere che in quel Paese si sta effettuando una vera rivoluzione per quanto riguarda l'isolamento del macchinario elettrico.

Infatti tecnici delle maggiori case costruttrici americane annunciano l'impiego di un nuovo isolante nella costruzione del macchinario elettrico. Costituito da polimeri silico-organici e denominato silicone, esso presenta, oltre ottime proprietà dielettriche, le ragguardevoli caratteristiche di resistere ad elevate temperature e all'umidità senza deteriorarsi [1].

Subito s'intravvede l'importanza decisiva di questo nuovo isolante nella evoluzione futura delle macchine elettriche in quanto esse potranno funzionare a temperature elevate ed in ambienti fortemente umidi senza che l'isolante ne risenta.

Se l'introduzione degli isolanti silico-organici nella moderna tecnica costruttiva delle macchine elettriche affaccia un avvenire ricco di brillanti promesse, e quindi gli esperimenti in corso per l'utilizzazione di questo nuovo prodotto sono da seguire col più alto interesse, conviene non dimenticare che, anche senza l'avvento dei siliconi, l'adozione delle vernici sintetiche costituisce un grande passo verso nuove possibilità.

Si sa che fino dal 1935 nelle grandi fabbriche di macchinario elettrico americane ed anche tedesche si dedicava la massima attenzione alle impregnazioni degli avvolgimenti con tali vernici, onde le operazioni di verniciatura divennero talmente accurate da considerarsi segreti di fabbricazione.

Il fatto che le vernici isolanti abbiano un ruolo tanto importante nella costruzione del macchinario elettrico rotante, ma che d'altra parte si riscoltri talvolta tra i tecnici d'officina una certa incertezza sul loro impiego, in special modo per quanto riguarda le vernici isolanti sintetiche, ci fa ritenere non inutile il trattarne brevemente, anche se molte delle conclusioni alle quali siamo pervenuti siano già state rese note. Tanto più che se sulle resine sintetiche e loro più svariate applicazioni esiste una copiosa letteratura italiana arricchita anche ultimamente da opere complete e di notevolissimo valore, per quanto a noi consta, sul loro impiego nel campo delle vernici isolanti, poco si è scritto nel nostro Paese.

Le considerazioni ed i risultati che verremo ad esporre nel corso di questa nota, vogliono attenersi in tutto a una serena obiettività e non si riferiscono in particolare a nessuna casa fornitrice di vernici isolanti.

1. - VARI TIPI DI VERNICI ISOLANTI ED ACCENNO SUI COMPOSTI SILICO-ORGANICI.

Fino pochi anni prima dell'inizio della seconda guerra mondiale, le vernici isolanti usate per l'impregnazione degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti erano quasi esclusivamente quelle denominate vernici grasse o ad olio, costituite essenzialmente da soluzioni di resine naturali in oli vegetali essiccativi con l'aggiunta per lo più di solventi volatili.

Le resine naturali più comunemente impiegate erano la coppale, la dammara, l'elemi, la colofonia, la sandracca, l'ambra, ecc.; mentre gli oli vegetali essiccativi più usati erano l'olio di lino e l'olio di legno di Cina. I solventi erano costituiti generalmente dall'alcool metilico, il solfuro di carbonio, la benzina, il benzolo, il toluolo, ecc.

Oltre a questi tipi più comuni di vernici grasse, se ne trovavano in commercio molte altre varietà nella cui composizione entravano ingredienti diversi, come per esempio quelle a base di asfalti naturali o di bitumi. Di notevole importanza per l'impregnazione dell'isolamento degli avvolgimenti delle macchine elettriche rotanti (in special modo per gli avvolgimenti di statore a doppio strato delle grandi macchine a corrente alternata) sono le miscele bituminose, solide alla temperatura ambiente e fluide a 140÷170 °C, chiamate compound. Esse sono preparate a base di gilsonite alla quale si aggiungono con appropriati procedimenti altri bitumi, paraffina, vaselina, resine, oli vegetali essiccativi e non essiccativi, oli minerali, ecc. In questi ultimi anni, la gilsonite è stata surrogata con miscele a base di asfalti derivati dalla distillazione del petrolio [2].

Fu lo sviluppo enorme e l'impiego più svariato delle resine sintetiche durante l'ultimo decennio, specialmente negli Stati Uniti d'America, ad aprire le accennate promettenti vie anche nel campo delle vernici per uso elettrotecnico.

Appartengono alle resine sintetiche numerosissime sostanze organiche ottenute per condensazione o per poli-

[1] T. A. KAUPPI e G. L. MOSES: *I composti silico-organici per l'isolamento del macchinario elettrico*. Congresso A.I.E.E., gennaio 1945.

[2] M. CARLEVARO: *La surrogazione della gilsonite nelle miscele bituminose per l'impregnazione degli isolamenti nelle macchine e nelle apparecchiature elettriche*. « L'Elettrotecnica », vol. XXIX, n. 5, 1942.

merizzazione. Esse si possono classificare a seconda delle materie prime dalle quali provengono: così, ad esempio, le resine fenoliche che si ottengono dalla condensazione del fenolo con aldeide formica; le resine cresoliche analoghe, quale procedimento di fabbricazione, alle fenoliche, soltanto cambia l'elemento base che è il cresolo; le resine alchidiche da condensazione di glicerina con anidride ftalica; le resine amminiche da condensazione di urea con formaldeide, ecc.

A seconda del comportamento sotto l'azione del calore, le resine sintetiche si classificano ancora in termoindurenti e termoplastiche. Le prime all'azione del calore induriscono irreversibilmente, le seconde invece se riscaldate non solidificano, mantenendo un ciclo reversibile in funzione della temperatura. Per le vernici isolanti sintetiche al forno, adoperate per l'impregnazione degli avvolgimenti delle macchine elettriche, maggiore interesse presentano le resine sintetiche termoindurenti in quanto si prestano ad un processo di indurimento con il calore e non rammolliscono con successivi riscaldamenti.

Per dare alle vernici isolanti sintetiche tutte le qualità necessarie al loro uso, vengono aggiunti alle resine sintetiche pure altri componenti; tra questi certamente il più importante è il plastificante che definisce il grado di elasticità della vernice isolante. Elemento questo di basilare importanza poichè, se la pellicola di vernice non possiede l'elasticità necessaria allo scopo d'impiego, si formano delle sottili incrinature che favoriscono il penetrare di elementi distruttori che diminuiscono il valore dell'isolamento. Nelle vernici grasse il grado di elasticità è raggiunto con la percentuale d'olio vegetale da esse contenuto, valore in antitesi con la durezza della vernice che a sua volta definisce un altro elemento di grande importanza qual'è la cementazione ovvero la compattezza delle bobine, che permette alle spire di resistere agli sforzi centrifughi e a quelli dinamici dovuti alle correnti.

I procedimenti moderni con i quali si ottengono le vernici sintetiche hanno dato la possibilità di associare un elevato grado di durezza con una buona elasticità. Un esempio tipico lo possiamo avere dalle resine alchidiche che combinate con acidi grassi derivati dalla saponificazione di oli essiccativi, modificano le loro caratteristiche iniziali di una durezza troppo elevata per acquistare la voluta elasticità.

Anche il processo di esterificazione, che se ha portato sensibili vantaggi alle resine naturali modificando (attraverso il trattamento con alcoli poliossidrilici) le loro proprietà ed aggiungendone delle nuove, ha fornito una gamma di possibilità alle resine sintetiche e quindi pure alle vernici che ne derivano.

Tra le varietà di vernici dielettriche che destano molto interesse sono quelle che risultano dal legame di alcune resine fenoliche termoindurenti con gli oli vegetali formando dei tipi di transizione tra le vernici grasse e quelle sintetiche, dove al posto dei plastificanti sintetici si impiegano l'olio di lino e quello di legno.

Utilizzando le eccezionali caratteristiche dei composti silico-organici l'industria americana ha in istudio attualmente dei nuovi tipi di vernici isolanti e particolare interesse in riguardo rivestono le resine siliconi.

I metilsiliconi, che si ottengono dalla disidratazione dei siliconi e la loro condensazione, si prestano ad essere incorporati anche ad altre resine sintetiche, alle resine naturali, agli oli vegetali, ai solventi, ecc., allo scopo di migliorarne le caratteristiche e, considerando le singolari proprietà fisiche dei polimeri silico-organici, è da ritenere che con i prodotti che se ne ricaveranno si potranno ottenere dei risultati fino ad oggi non ancora raggiunti.

Il vivo interesse suscitato negli ambienti tecnici americani, specialmente al Congresso dell'A.I.E.E. di Nuova York del 1945, per le proprietà fisiche dei siliconi e le loro sorprendenti varietà d'impiego, vorrà giustificarci se ci soffermiamo ancora, seppure brevemente, su questo avvincente argomento [3].

Gli studi sui composti silico-organici risalgono agli anni 1901-1923 per opera specialmente di un chimico inglese, F. S. Kipping che, per la loro analogia alla struttura chimica dei chetoni, li chiamò siliconi. Ma si deve alle ricerche di un chimico americano F. Hyde, se intorno al 1935, prendendo le mosse dagli studi del Kipping, si potè da lui ottenere una nuova classe di resine e liquidi silico-organici maggiormente polimerizzati ed aventi caratteristica comune di resistenza alle temperature elevate, ottime proprietà dielettriche e l'anigroscopicità.

I composti silico-organici allo stato fluido costituiscono degli ottimi lubrificanti aventi un basso punto di congelamento (a — 57 °C sono ancora fluidi) e insensibilità della viscosità alle variazioni anche notevoli della temperatura.

Allo stato semifluido costituiscono dei grassi artificiali che non fondono a + 204 °C e che mescolati con altre sostanze resistenti al calore (come i saponi metallici, nero fumo, ecc.) formano delle famiglie di grassi artificiali molto resistenti al calore e che sono particolarmente adatti alla lubrificazione dei cuscinetti a sfere sottoposti a temperature elevate e alla lubrificazione in genere di meccanismi posti in ambienti surriscaldati.

Le gomme di silicone conservano la loro elasticità alle basse quanto alle elevate temperature ed hanno la singolare caratteristica di comportarsi come materiali plastici se sottoposti all'azione di sforzi graduali e di essere invece elastiche sotto i carichi bruschi.

Tra le grandi varietà d'impiego dei siliconi, quella della loro introduzione nel campo dell'elettrotecnica è certamente la più importante. Con le eccellenti proprietà dielettriche, la notevolissima resistenza al calore e l'assoluta impermeabilità all'acqua dei composti silico-organici, l'elettrotecnica vede nascere un nuovo materiale isolante destinato alle più svariate applicazioni.

Le resine siliconi vengono impiegate principalmente per impregnare avvolgimenti costituiti da conduttori elettrici rivestiti da tessuti di vetro. Se si considerano le note caratteristiche dei tessuti di vetro per quanto riguarda la resistenza alla temperatura (fino a 400 °C essi possiedono ancora proprietà meccaniche ed elettriche accettabili per essere usati come isolanti nei conduttori), vediamo che gli avvolgimenti di una macchina elettrica isolati e verniciati con questi materiali presentano proprietà estremamente interessanti. La rigidità dielettrica delle resine siliconi è di 60÷80 kV/mm per spessori sottili e il fattore di perdite alla frequenza di 1000 Hz: $tg\,\delta = 0{,}007$.

Queste resine vengono impiegate anche per l'impregnazione di tessuti di amianto e per fabbricare micaniti e micafoglio.

Le vernici di siliconi sono odiernamente le sole vernici isolanti che possono sopportare temperature continue da 175 a 200 °C.

Infatti prima dell'avvento dei siliconi vennero sperimentate delle vernici isolanti resistenti al calore, che erano del tipo sintetico con aggiunta di silicati finemente granulosi e studiate in modo da possedere una conducibilità termica maggiore delle usuali vernici da impregnazione. Ma il loro grado di resistenza al calore risultava inferiore a quello ottenuto con le vernici di siliconi.

Per il trattamento in forno di queste ultime necessita una temperatura che si aggira sui 200 °C e quindi note-

---

[3] Sui siliconi, nella letteratura tecnica italiana, si vedano: « Elettrotecnica », n. 7, luglio 1946; G. Valota: *I siliconi*. « Materie plastiche », n. 1, gennaio-febbraio 1946, pag. 10; H. W. Stawski: *Dielettrici ceramici. Stato attuale e sviluppi nuovi*. « Tecnica Elettrotecnica », aprile 1946, pag. 19.

volmente più elevata delle vernici isolanti fino ad ora usate che richiedono temperature tra i 100 e 120 °C.

Con i prodotti semifluidi, del tipo ceroso, si sono fabbricate delle sostanze atte per sigillare i cavetti nelle installazioni elettriche dove venga richiesto elevata resistenza al calore, e dove non possano quindi trovare impiego gli ordinari materiali bituminosi e cerosi (i bituminosi, che sono i migliori, non hanno generalmente un punto di fusione che supera i 100 °C). I prodotti liquidi sono adottati anche per la verniciatura ad immersione su pezzi di ceramica o vetro ai quali si fa seguire un trattamento al forno per l'indurimento della pellicola protettiva di silicone. Le caratteristiche elettriche di queste pellicole sono superiori a quelle delle cere naturali o sintetiche usate a tale scopo e sono quelle di uno strato protettivo oltremodo tenace ed assolutamente impermeabile all'acqua.

A Midland negli Stati Uniti, per conto della Dow Corning Corp., si è aperta recentemente una fabbrica per la produzione esclusivamente dei siliconi ed è da prevedere che i prezzi attualmente elevati di questi prodotti tenderanno a diminuire. Le priorità americane sono coperte da brevetti depositati nel 1939 dalla Dow Corning Corp. e nel 1940 dalla General Electric Co.; in Francia la Compagnie Française Thomson-Houston ha depositato un brevetto nel 1940.

2. - Comportamento delle vernici sintetiche.

Non vi è dubbio che ancor oggi presso molti costruttori di macchinario elettrico, le vernici isolanti grasse godono incontrastate la maggiore fiducia. D'altra parte, c'è una forte corrente di elettrotecnici che seguono l'evolversi sempre più promettente delle vernici isolanti sintetiche, affermando che con esse si possono raggiungere gli stessi risultati che si ottengono con le grasse e, sotto certi aspetti, di gran lunga più favorevoli. Infatti alle vernici grasse viene mosso l'appunto che per determinate costruzioni di macchinario elettrico moderno non posseggono tutti i requisiti necessari che assicurino il buon funzionamento delle macchine stesse. Una delle principali obbiezioni si riferisce al grado di cementazione insufficiente che si ottiene con le vernici grasse per macchine a grande numero di giri. Un'altra ragione di critica è il comportamento di queste vernici al calore in quanto si rammolliscono con le temperature d'esercizio delle macchine. Siccome l'essiccamento delle vernici grasse avviene per evaporazione del solvente e con l'assorbimento dell'ossigeno dell'aria per reazione chimica di alcuni componenti sotto l'azione del calore, è ovvio che l'essiccamento nelle profondità degli avvolgimenti si effettua difficilmente con queste vernici e spesso non completamente, poichè la pellicola esterna essiccata impedisce l'entrata all'interno dell'ossigeno dell'aria. A peggiorare ancor più questa tendenza a non essiccare in profondità, interviene poi il fenomeno accennato del rammollimento della vernice alla temperatura di esercizio delle macchine. Sicchè, se queste ultime hanno forti velocità, si possono temere spostamenti locali di vernice che comprometterebbero il bilanciamento dinamico delle macchine stesse (4).

Al contrario, le vernici sintetiche che essiccano per evaporazione del solvente e per processo evolutivo di polimerizzazione (che consiste in reazioni chimiche che avvengono senza l'intervento dell'ossigeno dell'aria), possono venir essiccate con facilità anche in profondità. Ma se con le vernici grasse l'essiccamento completo non è facilmente realizzato, tuttavia, qualunque sia lo stadio di essiccamento che si ottiene, esse presentano pur sempre ancora delle caratteristiche dielettriche; non così con le sintetiche che se non hanno raggiunto il grado d'essiccamento necessario che le porta ad assumere tutte le caratteristiche fisiche e chimiche loro proprie, non possono essere considerate come dielettriche (5).

Le vernici a base di resine sintetiche presentano inoltre interesse notevole per il loro comportamento alla scarica elettrica. Generalmente queste prove si fanno su dei provini costituiti da una sottile pellicola di vernice isolante riportata su una lamina di rame o una striscia di carta (6). Oltre alle solite condizioni di prova, quali la temperatura, la pressione degli elettrodi, loro forma e dimensione, forma e frequenza della tensione applicata e l'aumento di quest'ultima in funzione del tempo di applicazione, i risultati dipendono a parità di vernice isolante, dal grado di essiccamento, dallo spessore della pellicola, dalla sua acidità e dall'umidità relativa con cui le prove hanno luogo. Se le vernici sintetiche subiscono il trattamento termico necessario e raggiungono quindi un completo essiccamento, esse forniscono ottimi risultati alla prova di rigidità dielettrica.

Tutte le vernici isolanti peggiorano le loro caratteristiche elettriche se assorbono dell'umidità, ma si è potuto constatare che le sintetiche si comportano in questo senso meglio delle grasse. E questo è un requisito importante, perchè un gran numero di macchine elettriche funzionano in luoghi in cui lo stato igrometrico è elevato, senza tener conto poi di tutte le macchine installate a bordo delle navi e negli impianti costieri che debbono essere impregnate con vernici isolanti inintaccabili dall'acqua salata.

Se le macchine funzionano in ambiente contenente vapori acidi, le vernici debbono essere costituite da elementi resistenti agli acidi e lo stesso dicasi per gli alcali.

Per le macchine rotanti non occorrerebbe sia richiesto che le vernici isolanti resistano all'olio caldo (com'è invece caso tipico quello degli avvolgimenti dei trasformatori), ma la possibilità di proiezioni dell'olio lubrificante consiglia a preferire quelle vernici che sono insolubili nell'olio.

Ora anche per quanto riguarda la resistenza agli acidi, agli alcali e agli oli caldi, le vernici sintetiche danno pieno affidamento.

Un'altra caratteristica delle vernici è la loro resistenza all'invecchiamento, valore fondamentale che ne determina la durata. Di solito nei laboratori si eseguiscono le prove d'invecchiamento riscaldando un tubo (precedentemente immerso nella vernice) in stufa a 110 °C durante 21 giorni consecutivi; si taglia quindi con un coltello affilato un piccolo pezzetto di vernice e si constata la sua elasticità (7).

Le vernici a base d'olio debbono il loro invecchiamento all'ossidazione della pellicola, che viene favorita dalla temperatura di esercizio della macchina. Per buone vernici isolanti, adoperate per l'impregnazione degli avvolgimenti delle macchine elettriche, l'invecchiamento avviene dopo tempo considerevole, e dalle esperienze effettuate dal Raskop sembrerebbe che con le vernici a base di resine sintetiche si ottengano risultati ancora migliori.

Un altro fattore da non trascurare per quanto riguarda le vernici sintetiche è la costanza dei prodotti che con esse si possono ottenere. Le sostanze che costituiscono le vernici grasse hanno una composizione più o meno complessa e non sempre costante, che varia a seconda del luogo di provenienza.

---

(4) F. Raskop: *Isolierlacke*, pag. 3, Editore Krayn, Berlino, 1938.

(5) *Vernici per l'elettrotecnica*. « Quaderni di tecnica industriale », n. II della Soc. An. Monti e Martini di Milano, pag. 32, edizione II, 1941.

(6) M. Altieri: *Sistemi di prova per vernici isolanti*. « Rendiconti dell'A.E.I. », 1933, pag. 445.

(7) *Normalisations, spécifications et règles techniques de l'Union Technique des Syndicats de l'Electricité*. C. 27; pag. 543, ediz. 1940.

Garantire quindi dei prodotti perfettamente costanti non riesce sempre agevole e soltanto delle accuratissime miscelazioni e sedimentazioni possono attenuare la variabilità dei costituenti e dare la possibilità di produrre delle vernici grasse di tipo costante. Le vernici sintetiche invece, sono dei composti chimici e, come tali, si possono riprodurre con esattezza garantendo prodotti costanti.

3. - TEMPI E TEMPERATURE DI ESSICCAMENTO E FASI DI UN TRATTAMENTO AD IMMERSIONE A PRESSIONE AMBIENTE CON INDURIMENTO IN FORNO.

Il fatto che nel meccanismo dell'indurimento delle vernici sintetiche prive di oli vegetali essiccativi non intervenga l'ossigeno dell'aria, fa tosto intravvedere la possibile semplificazione degli impianti di essiccazione rispetto a quelli occorrenti alle vernici grasse. Infatti i risultati che si ottengono con queste ultime sono strettamente legati alla costruzione e buon funzionamento del forno che deve adempiere le due operazioni basilari quale l'evaporazione del solvente e l'essiccamento delle vernici; ma se nella prima delle due operazioni non importa la presenza dell'aria (è preferibile che l'evaporazione del solvente si compia al riparo di ogni ossidazione), nella seconda è invece assolutamente necessario che la vernice da essiccare sia posta sotto l'azione di una razionale circolazione d'aria calda per dar modo che avvenga l'ossidazione degli oli essiccativi. I forni per l'essiccazione delle vernici a base di resine sintetiche e prive di oli essiccativi non richiedono invece nessuna particolarità per quanto riguarda la circolazione di aria poichè non ha importanza che essi siano o no ventilati, a circolazione chiusa o, come si è usato in taluni impianti, a circolazione di gas inerte.

Ora, se questa proprietà delle vernici sintetiche può comportare, come abbiamo accennato, una eventuale semplificazione nell'impianto d'essiccamento nonchè, ed è quello che più conta, se elimina una delle maggiori preoccupazioni dell'ingegnere d'officina il quale con le vernici grasse deve sempre assicurarsi che durante la fase di essiccamento venga fornita ai pezzi da essiccare l'aria necessaria all'ossidazione, bisogna tenere presente d'altra parte che nel caso delle prime i tempi e le temperature di essiccamento sono ben più decisivi che per le seconde.

È da osservare su questo argomento che i tempi di essiccamento forniti dai fabbricanti si riferiscono generalmente a prove di essiccamento eseguite su provini di rame, carta, tela, ecc., valori che variano sensibilmente quando si abbiano da impregnare delle bobine.

Le vernici isolanti grasse che essiccano lentamente contengono generalmente elevate percentuali di gomme e di oli che forniscono alla pellicola una struttura omogenea avente un ottimo grado di elasticità. La durata del tempo di essiccamento influisce sensibilmente su queste vernici anche dal punto di vista dell'isolamento in quanto la rigidità dielettrica migliora coll'aumentare del periodo necessario del mantenimento in forno dei pezzi impregnati. In altre parole può ben dirsi che per le vernici grasse un lento essiccamento è sinonimo di buon prodotto. Per le vernici isolanti sintetiche, cambiando completamente il processo di essiccamento (o come, per questo tipo di vernici, viene più appropriatamente definito da alcuni autori: processo d'indurimento), il requisito non si presenta necessario. Naturalmente anche per le vernici sintetiche la durata della permanenza in forno varia enormemente secondo la loro composizione; si possono avere delle vernici sintetiche che induriscono in poche ore come quelle il di cui tempo di indurimento si estende ad alcuni giorni.

Genericamente, rispetto ai tempi di essiccamento occorrenti alle vernici grasse, quelle a base di resine sintetiche hanno dei tempi di indurimento sostanzialmente più favorevoli. Siccome le temperature di polimerizzazione hanno estrema importanza, perchè i tempi di indurimento siano quelli voluti, bisogna curare che le misure di temperatura vengano effettuate direttamente sui pezzi da essiccare. Ad esempio se per l'impregnazione viene impiegata una vernice isolante sintetica indurente in forno alla temperatura tra i 120° e 130 °C ed invece la temperatura reale ai pezzi risulta 100 °C, la polimerizzazione stenterà ad effettuarsi; l'ingegnere di officina allungherà i tempi di essiccamento e non avrà una visione reale del comportamento della vernice.

Talvolta può succedere che il pirometro del forno sia starato oppure esso segni una temperatura troppo differente da quella reale dove si trovano i pezzi da indurire. Sicchè all'inizio di una nuova partita di vernice isolante sintetica si rende sempre opportuno un controllo del suo comportamento.

Quando si voglia effettuare un buon essiccamento, non basta tener conto del tipo e delle caratteristiche della vernice, ma è essenziale inoltre conoscere: lo scopo d'impiego, la qualità dell'isolante che ricopre i conduttori, il diametro dei conduttori, il numero delle spire, il numero di strati, le dimensioni degli avvolgimenti da impregnare e se le bobine sono nastrate oppure libere.

Il tempo occorrente per il processo evolutivo di polimerizzazione, dipende sensibilmente dalla composizione della vernice ed in particolare dalla famiglia di resine sintetiche di cui essa è costituita. Perciò l'ingegnere d'officina nell'accingersi a far adoperare una nuova partita di vernice anche dopo aver ricevuto istruzioni dal fornitore sull'uso della stessa, è bene assicuri su alcuni provini i tempi e le temperature occorrenti per un buon indurimento.

Siccome le normali vernici isolanti sintetiche al forno richiedono un solvente energico, non possono essere impiegate per l'impregnazione degli avvolgimenti in filo smaltato. Per ciò nel caso dei fili smaltati si devono scegliere delle vernici speciali le quali contengano solvente adatto (alcune vernici grasse rispondono ottimamente allo scopo). Anche per quanto riguarda le varie fasi del trattamento per l'impregnazione dei fili smaltati si deve ricorrere a degli accorgimenti che si basano essenzialmente sul diminuire i tempi di impregnazione e facilitare nel contempo l'evaporazione del solvente. Naturalmente l'esito non dipende soltanto dal tipo di vernice isolante, ma pure dalle proprietà dello smalto del filo. Alcune vernici sintetiche indurenti usate a freddo avrebbero dato esito favorevole, ma non avendo avuto la possibilità di poter effettuare delle prove con queste ultime, ci occuperemo solamente dell'impregnazione di avvolgimenti isolati con cotone o carta e cotone.

I provini che si adottano per esaminare il comportamento di una vernice isolante sono generalmente di due tipi. L'uno è formato da un avvolgimento che nel modo più semplice può essere costituito da un centinaio di spire arrotolate su se stesse aventi un diametro a filo nudo tra 0,5 e 1 mm e isolate in cotone oppure in carta e cotone. Questo tipo di provino serve per controllare specialmente i tempi e le temperature dei trattamenti, il grado di penetrazione della vernice, il grado d'indurimento interno e il grado di cementazione.

L'altro tipo di provino, del quale abbiamo già avuto occasione di far menzione, è costituito da una lamina di rame, oppure da una striscia di carta. Con questo secondo tipo di provino si controllano principalmente la rigidità dielettrica, lo spessore, l'aderenza e la distribuzione della pellicola, la resistenza della vernice all'acqua, agli acidi, agli alcali, all'olio isolante e al calore.

Ecco ad esempio il trattamento usato per il controllo di una vernice isolante sintetica indurente al forno, avente una viscosità di 4 gradi Engler a 20 °C ed una temperatura di polimerizzazione di circa 120 °C.

Per studiare il comportamento della vernice sintetica in esame, si sono adottati dei provini costituiti da bobine eseguite su sagoma avente forma rettangolare con i bordi arrotondati (simili a quelle usate per i poli delle macchine a corrente continua), aventi dimensioni massime esterne 80 × 68 mm ed una sezione trasversale per lato di 21 × 27 mm. I conduttori erano isolati con due volte carta e una volta cotone e il loro diametro netto corrispondeva a 1 mm; il numero delle spire era pari a 300. La verniciatura è stata effettuata con il metodo dell'immersione delle bobine in vasca di vernice a pressione ambiente con indurimento in forno.

Dopo la preventiva essiccazione delle bobine per 6 ore in forno arieggiato a 100 °C, ancora calde, esse vennero immerse in vasca di vernice sintetica per la durata di 10 minuti. Il passaggio dal forno alla vasca venne eseguito rapidamente per evitare che le bobine non assorbissero nuovamente dell'umidità prima della loro immersione nella vernice.

Prelevate dalla vasca di vernice, esse furono lasciate sgocciolare in aria per 30′ acciocchè si eliminassero tutti gli eccessi di vernice. Finito lo sgocciolamento, i provini furono portati nuovamente in forno per dar luogo all'evaporazione del solvente e durante questa fase il forno venne mantenuto per 2 ore a 60 °C. Infine la temperatura del forno fu portata a 120 °C e tenuta a questo valore per 12 ore in modo di dar luogo al processo evolutivo di polimerizzazione della vernice e quindi portarla al grado di indurimento voluto. È interessante notare che nelle due ultime operazioni del trattamento, quali quella dell'evaporazione del solvente ed indurimento della vernice, il forno era senza circolazione d'aria.

Nella pratica corrente d'officina la fase dell'evaporazione del solvente è conglobata al tempo occorrente per portare il forno alla temperatura necessaria all'indurimento della vernice.

Le bobine furono quindi sottoposte ad una seconda immersione, mantenendo le stesse modalità della prima, con l'unica differenza del capovolgimento dei provini durante l'operazione dell'immersione in vasca. Durante la prima e seconda fase di polimerizzazione, ogni due ore venne prelevata dal forno una bobina per l'esame del comportamento della vernice.

Per quanto riguarda i provini di lamina di rame, necessari a completare l'esame della vernice isolante, essi furono anzitutto sottoposti ad una minuziosa sgrassatura con benzina, indi essiccati in forno a 100 °C per 20′. I provini raffreddati, vennero immersi nella vernice isolante mantenuta a 20 °C, avendo quindi l'avvertenza di estrarre le lamine di rame lentamente, con velocità uniforme, tenendole a 90° rispetto la superficie libera della vernice. Dopo una permanenza di 30′ alla temperatura ambiente, i provini così costituiti, vennero passati in forno a 120 °C per l'indurimento delle pellicole di vernice. Come per le bobine, anche per essi si procedette ad una seconda immersione effettuata con le stesse modalità della prima, ma col capovolgimento dei provini.

Nella tabella che segue riportiamo i risultati riscontrati dopo i trattamenti completi secondo quanto esposto:

Densità a 20 °C	0,95
Viscosità in gradi Engler, misurata con foro di afflusso di 5 mm a temperatura ambiente di 20 °C	4
Parti non volatili	50 %
Rigidità dielettrica in kV per 0,1 mm di spessore di vernice, con sfere di 12 mm di diametro su provino di lamina di rame rettangolare 120 × 50 × 0,2 mm. Temperatura ambiente 20 °C	8,5
Grado di indurimento interno	ottimo
Grado di cementazione	ottimo
Grado di elasticità	buono
Grado di penetrazione	buono
Spessore della pellicola in centesimi di mm	3,75
Resistenza al calore	ottima
Resistenza all'olio isolante	buona
Resistenza all'acqua	ottima
Resistenza agli acidi	buona
Resistenza agli alcali	buona
Resistenza all'invecchiamento	buona
Distribuzione della pellicola sui provini di rame	buona
Aderenza della pellicola ai provini di lamina di rame	buona

Naturalmente i risultati possono cambiare notevolmente con la composizione della vernice sintetica e quelli esposti in tabella, valori che denunciano una vernice con buone caratteristiche per uso elettrotecnico, non sono da generalizzare a tutte le vernici isolanti sintetiche.

Non esiste una vernice dielettrica, grassa o sintetica, che sia universale, vale a dire che risponda ottimamente a tutti i requisiti. Abbiamo accennato che una vernice con alto grado di cementazione avrà sovente un grado di elasticità tutt'al più buono, e spesso mediocre. Ne risulta che nello scegliere il tipo di vernice si deve sempre tener presente lo scopo d'impiego e precisarlo al fornitore della vernice stessa.

Dopo essere stati sottoposti alle impregnazioni con la vernice di fondo (generalmente due e talvolta anche tre impregnazioni), sugli avvolgimenti si applica di solito a spruzzo o a pennello, una vernice essiccante all'aria, detta di ricoprimento e che ha il solo compito di proteggere il pezzo trattato. Non fa parte di queste note l'esame delle vernici di ricoprimento, diremo soltanto che esse debbono impedire il penetrare di elementi distruttori che diminuirebbero il valore dell'isolamento. Esse non debbono sgretolarsi in ambienti umidi o saturi di vapori acidi o alcalini e la pellicola deve avere particolari caratteristiche elastiche in modo da resistere alle vibrazioni usuali del macchinario elettrico. Anche per queste vernici le tendenze moderne si indirizzano verso il tipo sintetico.

Nel caso di motori elettrici costruiti per sopportare condizioni molto severe di lavoro, si preferisce aumentare talvolta il numero delle immersioni con la vernice di fondo eliminando la vernice di ricoprimento.

È importante rilevare che è invalso l'uso di chiamare vernici isolanti sintetiche anche quei tipi di transizione nella cui composizione, oltre che le resine artificiali, intervengono dei costituenti base delle grasse.

Questi interessanti tipi di vernici isolanti impiegati correntemente, e che per determinati impieghi hanno dato ottimi risultati, richiedono però un trattamento termico differente da quello richiesto dalle reali sintetiche. Se ad esempio uno di questi tipi di vernici di transizione contenesse anche dell'olio vegetale essiccativo, logicamente il meccanismo di essiccamento della vernice diventerebbe più complesso: mentre le resine sintetiche induriranno per semplice polimerizzazione sotto l'azione del calore, l'olio vegetale per essiccarsi richiederà circolazione di aria calda per la sua ossidazione e, in tal caso, i forni dovranno essere del tipo di quelli usati per l'essiccamento delle vernici grasse.

Per ottenere rapide essiccazioni delle vernici sintetiche, vanno sempre più diffondendosi dei metodi che, anzichè essere basati su fenomeni convettivi, consistono nel riscaldamento diretto dei conduttori elettrici (isolati con tessuti di cotone, vetro, ecc. ed impregnati di vernice) a mezzo correnti elettriche che attraversano i conduttori stessi, oppure con correnti indotte ad alta o media frequenza. La realizzazione di un riscaldamento uniforme del pezzo verniciato da essiccare, viene effettuata ancora meglio con radiazioni luminose o ultrarosse. Il Merz [8] consiglia di adottare delle radiazioni aventi delle lunghezze d'onda fra 0,7 e 1 micron, valori che assicurano un assorbimento per quanto possibile mi-

[8] A. Merz: *Essiccazione rapida di strati di colori e di vernici.* « Elektrowärme », luglio 1944, pag. 140.

nimo di energia da parte della vernice, in modo che a riscaldarsi sia il conduttore che a sua volta cede il suo calore per conduzione ai sovrastanti strati di vernice.

4. - INFLUENZA DELLA VISCOSITÀ.

Com'è noto, il problema implica oltre che un carattere tecnico, uno spiccato indirizzo finanziario. Infatti è il rapporto dei prezzi tra la vernice com'è fornita dalla fabbrica e il solvente occorrente a definire la viscosità voluta, che determina il costo definitivo del prodotto che viene poi adoperato in officina.

Così, per portare una vernice sintetica da 23° Engler (viscosità di fornitura a 20 °C) a 4° Engler occorsero 28,8 % di solvente in peso; per un'altra vernice sintetica avente 6° Engler, bisognò aggiungere una percentuale di diluente pari a 7,7 % in peso, sempre per ottenere 4° Engler.

Considerando che il solvente veniva a costare anteguerra generalmente 1/3 del valore della vernice, si constata che con la prima delle due vernici citate il costo diminuiva di circa il 20 % e con la seconda del 7 % rispetto una vernice avente già di fornitura 4° Engler; tutto ciò supposto che le tre vernici avessero lo stesso prezzo e che i loro rispettivi solventi mantenessero un costo come nel rapporto suindicato.

Nella pratica d'officina si riscontra sovente, adottando il metodo dell'immersione a pressione ambiente, che dopo poche operazioni la vernice contenuta nelle vasche apposite presenta un rilevante addensamento. Di solito la causa principale è dovuta all'evaporazione del solvente durante il periodo della impregnazione dei pezzi che possedendo una temperatura abbastanza elevata al momento dell'immersione, fanno volatilizzare il solvente. Altra ragione di perdita di solvente può aversi se le vasche, durante il periodo in cui non vengono adoperate, rimangono aperte. L'evaporazione del solvente può presentare una spesa non indifferente ed è bene che l'ingegnere d'officina ne tenga conto prendendo tutti i provvedimenti necessari per assicurarsi un corretto modo di lavorazione e un mantenimento adeguato delle vasche (i coperchi a contrappeso sono raccomandabili perchè rendono facile la manovra).

Purtroppo nelle fabbriche di macchinario elettrico questi particolari vengono spesso trascurati col risultato infelice di sperpero di materiale.

Il solvente che viene periodicamente aggiunto affinchè la vernice abbia la diluizione voluta, bisogna sia approvato dal fabbricante che fornisce le vernici; esso viene versato nella vasca lentamente a piccole quantità avendo l'accortezza di mescolare il tutto energicamente in modo da assicurare una buona mescolanza intima del diluente con la vernice ed ottenere un prodotto complessivo omogeneo. Per questa ragione le vasche da vernice (costruite generalmente con lamiere d'acciaio), sono spesso munite di un mescolatore a palette o di una pompetta di circolazione.

Per quanto riguarda l'influenza della viscosità sull'uso delle vernici isolanti sintetiche si è potuto constatare, partendo da vernici aventi un valore rilevante e poi diluite opportunamente in modo da avere valori decrescenti, che essa influenza oltre naturalmente lo spessore della pellicola e il grado di penetrazione, in modo particolare: il grado di elasticità, quello della cementazione, l'aderenza, la rigidità dielettrica e il tempo di indurimento. Naturalmente i due primi termini sono in antitesi: e precisamente le vernici con maggiore viscosità tendono a migliorare la cementazione a discapito della loro elasticità. L'aderenza e la rigidità dielettrica tendono a peggiorare con viscosità elevate.

Qual'è dunque il valore migliore della viscosità che soddisfi tutte queste differenti esigenze? Per poter rispondere all'importante interrogativo bisognerebbe anzitutto sapere lo scopo d'impiego nonchè le disposizioni di essiccamento e in particolare i metodi di lavorazione. In altre parole bisognerebbe avere tutti quei dati che caratterizzano la scelta della vernice. Chiarita la difficoltà di una risposta immediata, potremo tuttavia affermare che le vernici sintetiche gialle per usi elettrotecnici indurenti in forno, forniscono per lo più buoni risultati entro una gamma di viscosità che sta tra i 3 e i 25° Engler. Per valori maggiori l'elasticità e l'aderenza non danno risultati soddisfacenti; mentre in un eccesso di diluente la cementazione delle bobine nonchè le funzioni dielettriche della vernice tra le spire potrebbero essere insufficienti.

Per vernici sintetiche che posseggono dei buoni plastificanti si è constatato che viscosità dell'ordine di 4° Engler possono venir impiegate utilmente in numerose applicazioni. Se il tipo di vernice e il pezzo da impiegare lo consentono, i più grandi vantaggi economici si ottengono nell'acquistare vernici dense diluendole poi in officina secondo le necessità e, per evitare l'evaporazione del solvente, è preferibile aggiungere il diluente possibilmente al momento dell'impregnazione col controllo del viscosimetro.

Abbiamo già messo in evidenza la grande importanza dei tempi e delle temperature necessarie all'indurimento delle vernici isolanti sintetiche. Può riuscire quindi di qualche interesse riportare alcuni risultati sul trattamento al quale abbiamo sottoposto dei campioni di bobine (eguali a quelle adoperate nelle impregnazioni precedenti), con due vernici sintetiche gialle al forno indurenti a 110 °C, aventi delle viscosità di fornitura a 20 °C pari a 6° Engler e rispettivamente 18° Engler e che per la loro composizione avevano una tendenza a non possedere un grado di essiccamento e di cementazione elevati. Per esaltare i fenomeni durante il periodo dell'indurimento in forno si sono elevate le relative temperature portandole a 130 °C per la prima serie di controlli e a 160 °C per la seconda.

Dopo 24 ore di riscaldamento al forno a 130 °C si riscontravano sulle bobine impregnate a 6° Engler, un indurimento ed una cementazione che si poterono ritenere buone.

Le stesse bobine trattate con la vernice avente 18° Engler, sempre alla stessa temperatura di 130 °C, denunziavano un miglioramento nella cementazione rispetto alle prime. Contemporaneamente alle bobine sono stati sottoposti agli stessi trattamenti termici dei nastri isolanti di cotone e si constatava che essi mantenevano le loro caratteristiche primitive di colorazione e di resistenza alla trazione. Dei nastri isolanti di cotone sui quali avevamo eseguito tutti i trattamenti termici, ma che erano stati però impregnati, si riscontrava che essi aumentavano sensibilmente la loro resistenza alla trazione, che da 10 kg/cm si portava a 25 kg/cm.

Dopo la seconda immersione e altre 24 ore di riscaldamento a 130 °C si constatava per le vernici di ambedue le viscosità un miglioramento nell'indurimento.

È da osservare che migliorando i valori della resistenza alla trazione i nastri che avevano subito il trattamento completo d'impregnazione come le bobine, acquistavano una maggiore fragilità, tanto da bastare una loro semplice piegatura a poco più di 90° per romperli.

Si sono ripetute le prove con le stesse vernici e con gli stessi tempi di indurimento, aumentando però la temperatura del forno a 160 °C. L'indurimento naturalmente migliorava questa volta sensibilmente. Nei nastri di cotone, sottoposti per 24 ore a tale temperatura, si poteva notare un principio d'ingiallimento che rivelava l'inizio della carbonizzazione delle fibre. La loro resistenza alla trazione che inizialmente si aggirava sui 10 kg/cm, diminuiva ora portandosi a 7,5 kg/cm, mostrando chiaramente che i nastri avevano sofferto per il riscaldamento

eccessivo. Invece, i nastri impregnati e portati essi pure alla temperatura di 160 °C non presentavano alcun fenomeno di carbonizzazione e miglioravano le loro caratteristiche di resistenza alla trazione, arrivando a 27,5 kg/cm.

Dopo la seconda immersione delle bobine in vernici di 6° e rispettivamente 18° Engler e susseguente riscaldamento al forno a 160 °C per la durata di altre 24 ore, si riscontrava come per il primo trattamento un buon indurimento. Mentre per i nastri di cotone non impregnati valevano le stesse considerazioni come per il primo trattamento termico a 160 °C, per quelli invece immersi in vernice a 6° Engler si riscontrò che potevano sopportare uno sforzo a trazione di 32 kg/cm e che quelli con vernice a 18° Engler aumentavano ancora portandosi a ben 35 kg/cm.

Coll'aumentare dunque della temperatura, l'indurimento migliorava, mentre la cementazione, almeno nei casi da noi trattati, non risentiva in modo rilevante l'aumento della temperatura stessa. Dalle esperienze eseguite sui nastri di cotone non immersi in vernice, si potè constatare che essi resistevano ottimamente a temperature intorno i 130 °C e che i nastri isolanti verniciati potevano essere sottoposti a temperature maggiori, con un forte miglioramento della resistenza alla trazione ma con conseguente aumento della loro fragilità. Questi ultimi fenomeni si accentuavano col crescere della viscosità della vernice.

Se la vernice isolante sintetica presenta scarse caratteristiche cementanti, non è sempre da imputarsi la causa a qualche difetto della sua composizione: spesso invece si è che la vernice è stata mal scelta, cioè il tecnico d'officina adopera un tipo che è indicato per tutt'altro scopo d'impiego.

5. - Impregnazione con il trattamento in autoclave.

Era già noto dall'esperienza acquisita con l'impiego delle vernici grasse, che se i pezzi da verniciare erano molto compatti (esempio tipico quello delle bobine costituite da numerose spire aventi un piccolo diametro) e se si voleva avere la certezza che la vernice isolante penetrasse a fondo entro tutti gli interstizi, risultava opportuno impiegare il procedimento di verniciatura nel vuoto. Il fatto che con l'autoclave l'impregnazione avvenga nella prima fase con pressione inferiore a quella ambiente indi possa essere portata a circa 3÷4 atmosfere, rende intuitivo il riconoscere che la vernice penetra più profondamente con questo metodo che con quello della semplice immersione a pressione ambiente. Anche l'essiccazione preventiva dei pezzi con il trattamento in autoclave viene avvantaggiata in quanto l'umidità viene rapidamente eliminata per mezzo del calore e del vuoto. Buoni risultati si ottengono suddividendo questa fase in due periodi: in un primo tempo sottoponendo il pezzo ad un essiccamento in forno ventilato, indi esponendolo a un trattamento in autoclave a temperatura ridotta e con una depressione di circa 700 mm.

È noto pure che non tutte le vernici isolanti si prestano al trattamento in autoclave, in particolare quando quest'ultimo è adibito non solo alla fase d'impregnazione ma anche a quella di essiccazione della vernice. I ripetuti riscaldamenti e raffreddamenti che la vernice subisce col trattamento in autoclave hanno azione nociva sulla parte gomma-resinosa della vernice isolante e possono portare disturbi nell'impianto e difficoltà di essiccazione. Per il trattamento in autoclave si prestano particolarmente bene certi tipi di vernici bituminose e di vernici grasse a base d'olio di lino.

L'uso degli autoclavi per il trattamento degli avvolgimenti con vernici isolanti a base di resine sintetiche non è recente.

Esso risale ormai a parecchi anni ed ebbe inizio con l'impregnazione degli avvolgimenti con quelle vernici che vennero in un primo tempo denominate alla bakelite. Quest'ultima, scoperta nel 1872 ma applicata industrialmente da L. H. Bakeland tra il 1908 e 1912, è una resina sintetica composta da fenolo e formaldeide e sulla quale la Bakelite Corporation di Nuova York detenne l'esclusività di produzione fino al 1921, quando cioè i tecnici tedeschi cominciarono a lanciare sul mercato delle resine sintetiche fenoliche utilizzando altri brevetti di fabbricazione. Negli anni susseguenti si videro sorgere numerosi impianti per il trattamento di queste prime vernici isolanti sintetiche, costituiti essenzialmente da due autoclavi speciali riscaldati: uno per le operazioni di essiccamento e di impregnazione, l'altro per la polimerizzazione della resina (9).

In seguito al perfezionarsi dei metodi di produzione e alla scoperta di numerose altre resine sintetiche, aumentarono non solo le schiere delle vernici fenoliche ma si poterono realizzare, come abbiamo visto, molte altre vernici isolanti che vengono trattate tanto con il metodo dell'immersione in vasca con i procedimenti indicati, quanto in autoclave.

Anzi, si afferma sovente che uno dei principali vantaggi delle vernici sintetiche rispetto a quelle grasse, stia proprio nel fatto che con le prime si possono ottenere dei risultati del tutto soddisfacenti senza dover ricorrere all'impregnazione nel vuoto: impianto costoso e di delicata manutenzione. Infatti con le vernici sintetiche un qualunque forno che possa raggiungere i 120-130 °C è in grado di risolvere i problemi dell'indurimento con grande profitto delle piccole industrie.

Per poter adoperare le vernici sintetiche termoindurenti con gli stessi impianti d'autoclave usati normalmente con le vernici grasse (dove nella stufa a vuoto viene effettuata l'impregnazione ed in seguito anche l'essiccamento), occorre un forno a parte per l'indurimento dei pezzi, e ciò per evitare che i resti di vernici rimasti nelle tubolature e nelle valvole vengano riscaldati fino a raggiungere lo stato di insolubilità, il che provocherebbe gravi inconvenienti. È buona norma quindi, usando vernici sintetiche, il non sorpassare mai in autoclave temperature che possono dar luogo a fenomeni di polimerizzazione, tanto più che anche nella fase di essiccazione preventiva, essendo l'aria rarefatta, è possibile eliminare l'umidità degli avvolgimenti a temperature minori rispetto a quelle che vengono adottate normalmente nei forni di essiccazione.

Tutto ciò considerato, noi rimaniamo dell'avviso che nelle grandi officine di costruzione di macchinario elettrico convenga avere la possibilità di adottare il sistema dell'impregnazione nel vuoto anche con le vernici sintetiche e qui di seguito vogliamo darne qualche esempio.

Allo scopo di effettuare un esame comparativo dei risultati che si ottengono con questo metodo in confronto a quelli indicati in tabella, si sono fatte delle impregnazioni in autoclave con la stessa vernice isolante e gli stessi campioni delle prove precedentemente citate. È da tener presente che, siccome la prima impregnazione in autoclave avviene solitamente ad un temperatura che si aggira verso i 30 °C e quindi superiore a quella media che si raggiunge in vasca, usando il primo dei due metodi occorrerebbe stimare la viscosità non più a 20 °C come abbiamo fatto per gli esempi precedenti, bensì a 30 °C. Ma per non dover alterare la diluizione della vernice e poter fare quindi dei confronti sui risultati senza modificare i rapporti della miscela, si è mantenuto il valore della viscosità di 4° Engler in corrispondenza a 20 °C.

---

(9) G. Caviglia: *Le vernici isolanti e i procedimenti di impregnazione degli avvolgimenti delle macchine elettriche.* « L'Elettrotecnica », vol. XVII, n. 27, 1930.

L'essiccamento preventivo delle bobine venne iniziato in forno ventilato e riscaldato a 100 °C per la durata di 1 ora, e proseguito in autoclave a pressione ridotta per la durata di 2 ore a 60 °C. La prima impregnazione, effettuata anch'essa in autoclave inizialmente a pressione ridotta per 10', venne ultimata con una pressione di 3,5 atmosfere per 20' a 30 °C.

Dopo lo scarico della pressione e il travaso della vernice i provini furono sottoposti allo sgocciolamento che ebbe la durata di 30' a 20 °C, mentre la fase susseguente, quella dell'evaporazione del solvente, effettuata sempre in autoclave, durò altre 2 ore ad una temperatura di 50 °C.

Per l'indurimento della vernice, le bobine furono poste in forno non ventilato dove vennero mantenute per 12 ore a 120 °C.

Le fasi del secondo trattamento in autoclave cominciarono con l'impregnazione dei provini (le bobine capovolte rispetto alla prima impregnazione) a pressione ridotta per 10' e mantenute quindi a 3,5 atmosfere per 15' in una temperatura di 20 °C. Lo sgocciolamento, l'evaporazione del solvente e la fase di indurimento della vernice vennero ripetute identicamente come operato per la prima impregnazione.

I risultati che si conseguirono furono del tutto soddisfacenti, in particolare per il grado di penetrazione nettamente superiore alle stesse bobine verniciate alla pressione ambiente.

Posta la maggiore penetrabilità della vernice negli interstizi delle bobine e quindi una migliorata cementazione in quanto estesa a tutte le spire, se viene adottato il sistema dell'autoclave, quale logica conseguenza ne consegue che con questo metodo si debba ottenere anche un isolamento più sensibile, a parità del tipo di vernice, tra i conduttori.

Per controllare l'eventuale migliorato isolamento fra le spire delle bobine impregnate in autoclave con quelle sottoposte al trattamento in vasca a pressione ambiente, si sono verniciate secondo i due metodi delle bobine costituite da fili che avevano le stesse dimensioni e il diametro adoperati in tutte le altre esperienze citate. Ma anzichè esser costituite da 300 spire, erano state eseguite con 150 spire a filo doppio. Le due entrate delle bobine erano collegate con l'alta tensione, mentre le due uscite erano distanziate opportunamente tra loro in modo da non dar luogo a scariche tra le estremità.

Nella prima parte di queste prove si è voluto constatare il comportamento comparativo delle bobine, in un ambiente con un'umidità relativa del 60 %, e si ottennero valori più favorevoli per quanto riguardava il grado d'isolamento per le bobine impregnate in autoclave; aumentando la umidità ambiente e la permanenza dei provini in queste condizioni, i risultati furono ancora più vantaggiosi a paragone dei provini immersi in vasca di vernice.

A confermare ancora l'utilità di una iniezione a pressione della vernice sintetica negli interstizi delle bobine, stanno le osservazioni che si sono potute registrare immergendo della carta assorbente nella vernice sintetica. La semplice esperienza, che prese lo spunto dalle modalità prescritte dalle Norme francesi per definire il grado di penetrazione, ci segnalò che dopo un certo tempo d'assorbimento, le vernici presentavano un apprezzabile aumento di viscosità. Naturalmente l'immersione della carta assorbente era stata fatta con l'accortezza che eventuali evaporazioni del solvente non avessero influenza sensibile sulle misurazioni. Ciò denotava che la carta assorbente immagazzinava un liquido avente una viscosità minore della miscela vernice più solvente. È possibile quindi che nelle bobine trattate a pressione ambiente, possa talvolta penetrare nell'interno una miscela di vernice sintetica non conforme alle proporzioni precedentemente fissate.

Pertanto, esaminando delle bobine sezionate dopo essere state sottoposte ad una immersione, talvolta si constata come in profondità dell'avvolgimento non sia penetrato che del solvente, per capillarità, e non si trovi traccia di vernice. Il fatto è dovuto all'esistenza di aria fra gli interstizi, che impedisce il penetrare della vernice.

Ne risulta, che un trattamento come quello che si effettua negli autoclavi dove la miscela prima si infiltra tra le spire senza essere ostacolata dall'aria, indi viene iniettata a pressione e nelle proporzioni volute, possa essere in certi casi particolari non solo assolutamente più vantaggioso, ma pure necessario.

Nella verniciatura del macchinario elettrico le parti rotanti sono quelle che presentano la necessità di cure maggiori. La vernice isolante per l'impregnazione dell'isolamento degli avvolgimenti rotorici, deve possedere una serie di speciali requisiti che assicurino un buon funzionamento della macchina anche con una elevata velocità periferica e la notevole forza centrifuga che ne deriva.

Si rende necessario per questi avvolgimenti che la vernice d'impregnazione abbia un buon grado di essiccamento interno, in modo che nelle profondità delle cave rotoriche non rimangano delle sacche di vernice molle che comprometterebbero l'equilibratura dinamica del rotore.

Bisogna inoltre che la vernice possegga un buon grado di cementazione in modo che anche i conduttori non abbiano da subire dei pericolosi spostamenti che potrebbero riuscire dannosi non solo all'equilibratura del rotore ma pure dal punto di vista dell'isolamento. In alcune officine, per eliminare la vernice sovrabbondante delle cave rotoriche, trovano vantaggioso effettuare l'impregnazione allo stato rotante.

Le vernici isolanti sintetiche con le loro spiccate tendenze cementanti ed indurenti rispondono ottimamente ai requisiti richiesti per essere adottate nell'impregnazione dei rotori. Se usando il trattamento in autoclave con questi tipi di vernici si possono ottenere impregnazioni della massima sicurezza, anche un semplice trattamento vasca-forno eseguito con le avvertenze già accennate, può fornire garanzie sufficienti [10]. Usando invece vernici a base d'olio, per avvolgimenti rotorici di macchinario nel quale si vuol avere la massima sicurezza per quanto riguarda la verniciatura, l'impregnazione nel vuoto diventa una necessità.

Per le bobine dei poli principali di macchine in derivazione a corrente continua (aventi gran numero di spire di filo sottile) alla vernice viene richiesto anzitutto un buon potere di penetrazione e, in molti casi, che la pellicola sia sufficientemente elastica. Volendo realizzare una notevole penetrabilità della vernice sintetica tra le spire di tali bobine, come per le vernici grasse, può adottarsi utilmente anche in questo caso l'impregnazione nel vuoto.

C.R.D.A. - Monfalcone - Laboratorio Sperimentale, luglio 1946.

[10] Le vernici isolanti sintetiche a base di resine alchidiche (gliceroftaliche) hanno un notevole potere di penetrazione.

L'interessamento dei Soci per l'AEI si dimostra colla puntualità nel pagamento della quota alle Sezioni; esso deve essere compiuto al più tardi entro il mese di marzo.

CIRCUITI OSCILLANTI PSEUDO-ARMONICI

GIUSEPPE QUILICO

(Continuaz. e fine, v. N. 4, pag. 126).

10. – OSCILLAZIONI FORZATE. FERRO. RISONANZA.

Esaurito, almeno nell'ambito dei problemi postici, lo studio delle variazioni libere, passeremo ora a quello delle variazioni forzate. Si tratta di un problema di notevole portata pratica in quanto circuiti come quello di fig. 15, con induttore a ferro, si presentano spesso nel campo delle correnti deboli e talora anche in quello degli impianti.

Il problema presenta poi un particolare interesse speculativo per la singolare circostanza che il regime di funzionamento non risulta in generale *univocamente determinato* in funzione della sollecitazione esterna, attesa la possibilità che si realizzino, con la stessa sollecitazione, due regimi distinti.

Lo studio di tale complesso fenomeno, notoriamente chiamato, seppure impropriamente, *ferro-risonanza*, veniva iniziato nel 1907 dal Bethenod e successivamente sviluppato dal Martiensen, dal Biermmans, dal Boucherot e da numerosi altri (vedi Bibl.) ma non può ancora ritenersi esaurito. Molti autori hanno basato le loro trattazioni su ipotesi semplificative, alcuni prescindendo dai termini armonici superiori delle grandezze in giuoco, altri riferendosi ad una caratteristica di magnetizzazione schematizzata con due tratti rettilinei di diversa inclinazione come indicato in fig. 3 (Bibl. [7] e [15]).

Nella teoria che qui verrà istituita l'approssimazione introdotta è soltanto quella, forse inevitabile, inerente alla valutazione dell'effetto delle perdite nel ferro dell'induttore secondo i criteri esposti al N. 1. Il problema viene, in sostanza, ricondotto alla ricerca delle soluzioni periodiche della equazione (3) del circuito pseudoarmonico, ciò che si ottiene abbastanza semplicemente utilizzando quel procedimento delle approssimazioni successive così fecondo di risultati in tutti i campi dell'Analisi.

Premettiamo una breve illustrazione del fenomeno in esame rimandando il lettore, per una ben più esauriente documentazione *sperimentale*, ad un esteso lavoro del Rouelle [13].

La fig. 16, tratta da una Memoria del Boucherot [8], compendia i risultati di prove effettuate e mostra come variano, in un caso particolare, i valori efficaci della corrente I e della d.d.p. U agli estremi dell'induttore, in funzione della capacità C inserita nel circuito, e ciò per una tensione di alimentazione di 250 V approssimativamente sinusoidale. Nel caso particolare esaminato si verificava quanto segue:

1) Chiudendo il circuito con capacità inferiore ad 11,7 μF ed aumentandola progressivamente, si otteneva il solo regime di funzionamento che chiameremo « regime forte » (curve – 2).

2) Chiudendo il circuito con capacità superiore a 13 μF si otteneva il solo regime di funzionamento che chiameremo « regime debole » (curve – 1). In queste condizioni, diminuendo progressivamente la capacità, il regime debole permaneva sino a che era $C > 11{,}7$ μF; appena raggiunto questo valore il circuito passava bruscamente al regime forte.

3) Chiudendo il circuito con C compreso tra 11,7 μF e 13 μF si otteneva l'uno o l'altro regime indifferentemente.

4) Elevando opportunamente la tensione di alimentazione il regime debole non si verificava più.

Da quanto sopra appare intanto subito che quando la capacità inserita è compatibile con entrambi i regimi, se si dà tensione al circuito è il regime debole quello che più facilmente si verifica. Se invece il circuito era già stabilizzato sul regime forte, questo tende a permanere.

Nelle fig. 17 e 18 sono riprodotti due oscillogrammi rilevati durante le dette esperienze. Il primo si riferisce al regime debole, poco deformato perchè bassa è, in tal caso, la saturazione; il secondo riguarda invece il regime forte.

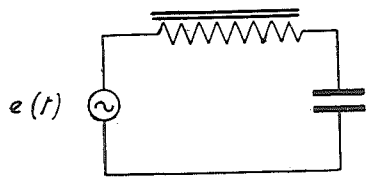

Fig. 15

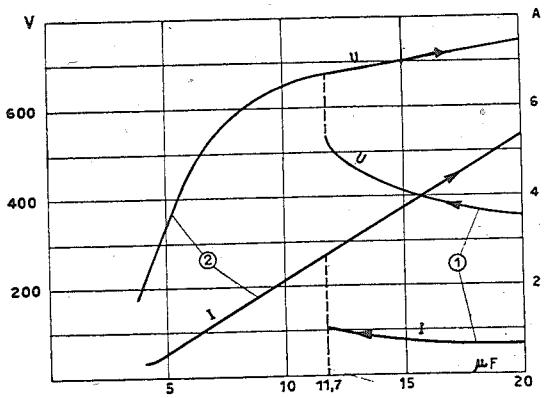

Fig. 16

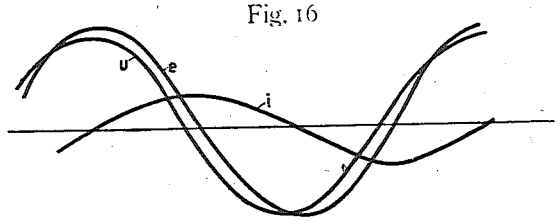

Fig. 17

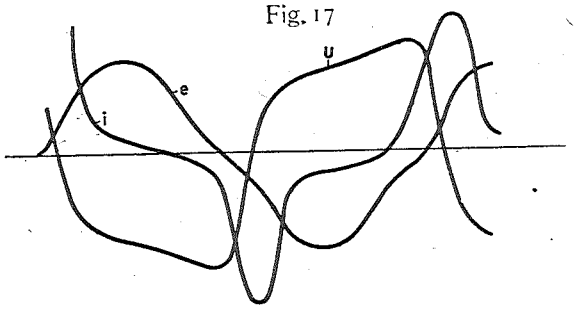

Fig. 18

Fig. 15. – Circuito oscillante pseudo-armonico (caso delle oscillazioni forzate).

Fig. 16. – Esempio di ferro-risonanza rilevata (Boucherot) su un induttore delle seguenti caratteristiche:

Sezione magnetica	$S = 0{,}07 \times 0{,}073$ m²
Lunghezza magnetica	$l = 0{,}84$ m
Numero spire	$N = 525$

Fig. 17. – Oscillogramma del *regime debole* per il circuito di cui alla fig. 16. La scala della tensione applicata e è diversa da quella della d.d.p. u ai morsetti dell'induttore.

Fig. 18. – Oscillogramma analogo a quello di fig. 17 ma relativo al *regime forte*.

È da notare come la relazione di fase che intercede tra la corrente (ovvero la d.d.p. U) e la tensione di alimentazione sia completamente diversa nei due casi.

Tutto ciò premesso a chiarimento delle caratteristiche più salienti della ferro-risonanza, passeremo ora ad istituirne una trattazione per quanto possibile rigorosa. Sarà peraltro opportuno di sviluppare prima il caso di dissipazione trascurabile, non solo per la maggiore semplicità ma essenzialmente perchè in questa circostanza è possibile presentare i risultati sotto una forma più espressiva. Inoltre, per maggior chiarezza di esposizione, supporremo in un primo momento la caratteristica $i(\varphi)$ limitata alla forma semplice:

$$i(\varphi) = a_1 \varphi + a_3 \varphi^3 \qquad (48)$$

e daremo poi le formule relative al caso generale per la cui dimostrazione, assai più laboriosa, si rimanda il lettore all'Appendice.

Sia il circuito di fig. 15 alimentato dalla f.e.m. armonica semplice [8].

$$e(t) = \mathcal{E} \sin \omega t \qquad (49)$$

Poichè per il momento trascuriamo la dissipazione potremo scrivere:

$$\frac{d^2 \varphi}{d t^2} + \frac{1}{C}(a_1 \varphi + a_3 \varphi^3) = \omega \mathcal{E} \cos \omega t \qquad (50)$$

Ricercheremo allora la soluzione periodica $\varphi(t)$ di questa equazione non lineare valendoci del classico procedimento delle approssimazioni successive. Questo metodo consiste notoriamente nell'assumere, affidandosi all'intuito, una soluzione approssimata di forma conveniente e nell'affinarla successivamente per gradi utilizzando l'equazione cui essa deve soddisfare. Qui assumeremo come prima approssimazione della soluzione periodica $\varphi(t)$ la funzione che è soluzione del caso lineare:

$$\varphi_{(1)} = \Phi_1 \cos \omega t$$

essendo Φ_1 una determinazione di φ da precisarsi in modo opportuno.

Sostituendo ora $\varphi_{(1)}$ al posto di φ nella (50) e sviluppando il cubo del coseno abbiamo:

$$\frac{d^2 \varphi}{d t^2} = \left(-\frac{a_1}{C}\Phi_1 - \frac{3}{4}\frac{a_3}{C}\Phi_1^3 + \omega \mathcal{E}\right)\cos \omega t - \frac{1}{4}\frac{a_3}{C}\Phi_1^3 \cos 3 \omega t$$

e quindi integrando due volte e ponendo eguali a zero le costanti arbitrarie (ciò che occorre per assicurare la periodicità) otteniamo come seconda approssimazione della soluzione:

$$\varphi_{(2)} = \frac{1}{\omega}\left(\frac{a_1}{\omega C}\Phi_1 + \frac{3}{4}\frac{a_3}{\omega C}\Phi_1^3 - \mathcal{E}\right)\cos \omega t + \frac{a_3 \Phi_1^3}{36 \omega^2 C}\cos 3 \omega t$$

Vogliamo ora precisare Φ_1 in guisa che l'ampiezza della oscillazione fondamentale sia la stessa tanto nella prima quanto nella seconda approssimazione. Otteniamo così, per determinare Φ_1 l'equazione di terzo grado [9]:

$$\tfrac{3}{4} a_3 \Phi_1^3 + (a_1 - \omega^2 C)\Phi_1 - \omega C \mathcal{E} = 0 \qquad (51)$$

e l'espressione di $\varphi_{(2)}$ si riduce a:

$$\varphi_{(2)} = \Phi_1 \cos \omega t + \frac{a_3 \Phi_1^3}{36 \omega^2 C}\cos 3 \omega t$$

Potremmo poi procedere a determinare la terza approssimazione $\varphi_{(3)}$ mediante la formula:

$$\frac{d^2 \varphi_{(3)}}{d t^2} + \frac{1}{C}(a_1 \varphi_{(2)} + a_3 \varphi^3_{(2)}) = \omega \mathcal{E} \cos \omega t$$

e così di seguito. In analisi si dimostra che l'iterazione del procedimento indicato conduce a caratterizzare la soluzione effettiva $\varphi(t)$ con quanta precisione si vuole. Ne segue, in definitiva, uno sviluppo in serie di coseni del tipo:

$$\varphi(t) = \Phi_1 \cos \omega t + \Phi_3 \cos 3 \omega t + \Phi_5 \cos 5 \omega t + \ldots$$

n cui le costanti Φ_r sono funzioni di a_3, C, ω e Φ_1 quest'ultimo dipendendo a sua volta dai precedenti parametri, oltre che da a_1 e da $\mathcal{E}$, secondo l'equazione cubica (51). Va peraltro tenuto presente che di solito la seconda approssimazione $\varphi_{(2)}$ è *già sufficiente a lumeggiare il comportamento del circuito.*

Nel caso generale in cui, in luogo della funzione di 3° grado (48) si consideri lo sviluppo effettivo della caratteristica $i(\varphi)$ sino al termine d'ordine (dispari) n, applicando il procedimento descritto si perviene, come è mostrato in Appendice, alle sintetiche conclusioni seguenti. Introdotte le funzioni [10]:

$$y_r(\Phi_1) = \sum_{s=r}^{n} \frac{a_s \Phi_1^s}{2^{s-1}} \binom{s}{\frac{s-r}{2}} \quad (r = 1; 3; 5 \ldots n) \qquad (52)$$

cosicchè in particolare per $r = 1$:

$$y_1(\Phi_1) = a_1 \Phi_1 + \frac{3}{4} a_3 \Phi_1^3 + \frac{5}{8} a_5 \Phi_1^5 + \ldots + \frac{1}{2^{n-1}} \binom{n}{\frac{n-1}{2}} a_n \Phi_1^n \qquad (53)$$

l'equazione (51), determinante i possibili valori di Φ_1 si generalizza come segue:

$$y_1(\Phi_1) - \omega^2 C \Phi_1 - \omega C \mathcal{E} = 0 \qquad (51')$$

---

[8] Se tale f.e.m. fosse invece una grandezza periodica complessa, considerandola sviluppata in serie di Fourier si potrebbe istituire una trattazione analoga a quella che segue ma a prezzo di una maggiore complicazione formale.

[9] Alla stessa equazione si può pervenire, con un procedimento completamente diverso, applicando il teorema variazionale di Meccanica analitica che va sotto il nome di *principio di Hamilton.* Tale principio afferma notoriamente che in un sistema a vincoli privi di attrito ogni moto è tale da rendere minimo l'integrale:

$$\mathcal{S} = \int_{t_2}^{t_1} (\tau - V + x X)\, d t$$

in cui τ e V rappresentano rispettivamente l'energia cinetica e potenziale del sistema, x la coordinata lagrangiana del moto ed X la componente lagrangiana della sollecitazione attiva.

Nel caso qui considerato alla coordinata x va sostituita la quantità di elettricità q il cui prodotto per la sollecitazione elettrica $e(t)$ rappresenta il lavoro compiuto da quest'ultima. L'integrale di Hamilton si scrive quindi, estendendo l'integrazione a tutto il periodo:

$$\mathcal{S} = \int_0^{2\pi/\omega} \left[\int_0^{\varphi} i(\varphi)\, d\varphi - \tfrac{1}{2} C \left(e - \frac{d\varphi}{d t}\right)^2 + q e\right] d t$$

mentre la soluzione $\varphi(t)$, supponendola sufficentemente delineata dalla seconda approssimazione $\varphi_{(2)}$, diviene:

$$\varphi(t) \cong \varphi_{(2)} = \Phi_1 \cos \omega t + \frac{1}{C} \sum_{r=3}^{n} \frac{y_r(\Phi_1)}{r^2 \omega^2} \cos r \omega t \qquad (54)$$

Per risolvere la (51') poniamo:

$$y_0(\Phi_1) = \omega^2 C \left(\frac{\mathcal{E}}{\omega} + \Phi_1 \right) \qquad (55)$$

Allora le radici (reali) di detta equazione saranno quei valori di Φ_1, per cui risulta $y_0 = y_1$. Rappresentiamo per ciò graficamente queste due funzioni (fig. 19).

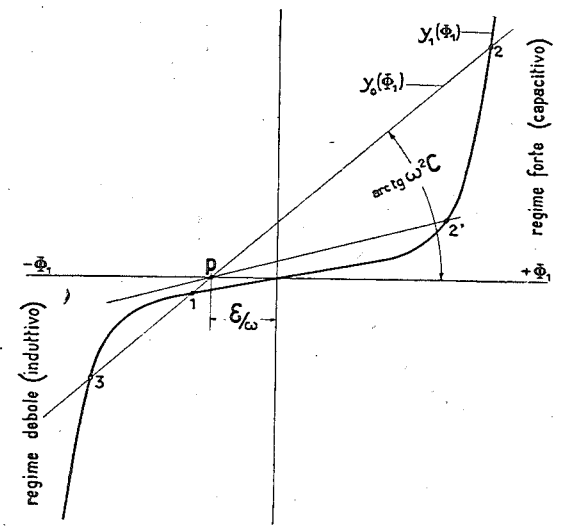

Fig. 19. – Diagramma per la determinazione delle oscillazioni forzate non dissipative di un circuito pseudo-armonico. Le ascisse rappresentano le ampiezze del termine armonico fondamentale delle concatenazioni magnetiche. La curva $y_1(\Phi_1)$ è definita dalla formula (53).

La curva $y_1(\Phi_1)$ dipenderà unicamente dalla caratteristica di magnetizzazione dell'induttore ed, anzi, avrà un andamento non molto diverso da quest'ultima.

La retta $y_0(\Phi_1)$ dipende invece dalla capacità del condensatore e dalla sollecitazione esterna; detta retta, di coefficiente angolare $\omega^2 C$, interseca l'asse Φ_1 nel punto di ascissa $\Phi_1 = -\mathcal{E}/\omega$ dipendente soltanto dalla sollecitazione esterna.

La fig. 19 ci mostra che, a seconda della posizione della retta y_0, si possono avere, uno, due oppure tre punti d'intersezione e quindi, almeno idealmente, un egual numero di regimi di funzionamento del circuito, caratterizzato ciascuno dal corrispondente valore di Φ_1 (ampiezza del termine fondamentale di φ).

Soffermiamoci ad esaminare in dettaglio i possibili casi. Se la retta interseca la curva in un sol punto, come 2', il regime di funzionamento, univocamente determinato, è caratterizzato da un valore positivo di Φ_1. Si tratterà cioè, come appare dal confronto della (54) con la (49), di un regime capacitivo nel senso che il termine fondamentale di $\varphi(t)$, e quindi della corrente, risulta in tali condizioni in anticipo di 90° sulla tensione applicata. Per le ragioni che vedremo subito diamo ad un tale regime l'appellativo di « forte ».

Ma passiamo a considerare la circostanza in cui la retta intersechi in tre punti la curva (il caso dei due soli punti è un limite del precedente). Dovrebbero allora risultare possibili tre regimi differenti mentre, come sappiamo (vedi fig. 16), detti regimi sono in effetti soltanto due. È facile peraltro mettere d'accordo la teoria con la pratica osservando che in fig. 19 un punto come 3 non può rappresentare un regime stabile in quanto ad una variazione della ampiezza $\mathcal{E}$ della tensione applicata verrebbe a corrispondere una variazione in senso opposto di Φ_1 e quindi dei valori del flusso, della corrente, ecc.

Restano pertanto i due regimi di funzionamento caratterizzati rispettivamente da punti come 1 (regime debole) e 2 (regime forte). Nel secondo caso abbiamo già visto trattarsi di un regime capacitivo; nel primo caso invece, avendosi $\Phi_1 < 0$, si tratta di un regime induttivo.

Si deve poi ancora osservare che, secondo la fig. 19, mentre il regime debole tende a zero col decrescere della tensione applicata, il regime forte può conservare un valore finito anche per $\mathcal{E} = 0$.

Questa incongruenza proviene dall'aver trascurato la dissipazione e scompare, come vedremo, appena si consideri anche tale aspetto del fenomeno perchè allora risulta che al disotto di una certa tensione il regime forte cessa bruscamente.

Vogliamo infine mettere in rilievo una fondamentale differenza di comportamento esistente tra il circuito pseudo-armonico, qui considerato, e l'ordinario oscillatore lineare. Per il primo la fig. 19 mostra che Φ_1, e quindi le varie grandezze in giuoco, sono sempre finiti cosicchè pur essendo per ipotesi il sistema conservativo, *non si verifica il fenomeno della risonanza* caratteristico dei sistemi lineari. Per questi invece la curva $y_1(\Phi)$ si riduce ad una retta di coefficiente angolare $a_1 = 1/L$; ed allora se la y_0 tende a divenirle parallela, ciò che si ha per $\omega^2 C = 1/L$, Φ_1 tende all'infinito nel verso positivo o negativo.

***

In pratica è generalmente preferibile riferirsi, anzichè alla caratteristica $i(\varphi)$, ad una caratteristica tracciata in funzione dell'induzione come già abbiamo fatto negli esempi numerici sviluppati precedentemente. Utilizzando ad esempio ancora lo sviluppo in serie della caratteristica di magnetizzazione del materiale ferromagnetico già introdotta al N. 2:

$$H(B) = \sigma_1 B + \sigma_3 B^3 + \ldots \sigma_n B^n \qquad \text{As/m}$$

in luogo delle funzioni definite dalla (52) si dovranno considerare le altre:

$$y_r(\mathcal{B}_1) = \sum_{s=r}^{n} \frac{\sigma_s \mathcal{B}_1^{\,s}}{2^{s-1}} \binom{s}{\frac{s-r}{2}} \quad (r = 1;\ 3 \ldots n) \qquad (52')$$

ed in particolare:

$$y_1(\mathcal{B}_1) = \sigma_1 \mathcal{B}_1 + \frac{3}{4} \sigma_3 \mathcal{B}_1^{\,3} + \frac{5}{8} \sigma_5 \mathcal{B}_1^{\,5} + \ldots +$$

Poniamo ora:

$$i = a_1 \varphi + a_3 \varphi^3$$

ed assumiamo per φ l'espressione:

$$\varphi = \Phi_1 \cos \omega t$$

Sostituendo ed eseguendo le integrazioni si trova $\mathcal{S}$ espresso come una funzione di Φ_1. Ma perchè siano soddisfatte le condizioni di estremo per $\mathcal{S}$, sancite dal principio di Hamilton, si deve avere:

$$\frac{\partial \mathcal{S}}{\partial \Phi_1} = 0$$

equazione che, esplicitata, si identifica appunto con la (51).

(19) Ricordiamo l'espressione esplicita del coefficiente binomiale:

$$\binom{s}{m} = \frac{s(s-1)(s-2)\ldots(s-m+1)}{1.\ 2.\ 3 \ldots m}$$

$$+\frac{1}{2^{n-1}}\binom{n}{\frac{n-1}{2}}\sigma_n \mathscr{B}_1^{\,n} \qquad (53')$$

In luogo della retta $y_0(\Phi_1)$ definita dalla (55), si ha poi, con i simboli del N. 6, la retta:

$$y_0(\mathscr{B}_1) = \omega^2 C \frac{N S}{l}\left(\frac{\mathscr{E}}{\omega N S} + \mathscr{B}_1\right) \qquad (55')$$

le cui intersezioni con la curva (53') determinano le possibili ampiezze $\mathscr{B}_1$ del termine armonico fondamentale dell'induzione.

Per la soluzione $B(t)$ si ha, in analogia con la (54):

$$B(t) \cong B_{(2)} = \mathscr{B}_1 \cos \omega t + \frac{l}{N^2 S}\cdot\frac{1}{C}\sum_{r=3}^{n}\frac{y_r(\mathscr{B}_1)}{r^2\omega^2}\cos r\omega t \qquad (54')$$

Se poi il circuito magnetico dell'induttore comprende anche un traferro di larghezza δ (in metri), per tenerne conto basterà, come si è detto al N. 7, aumentare le ordinate della curva y_1, delle quantità:

$$\frac{10^7}{4\pi}\frac{\delta}{l}\mathscr{B}_1$$

che rappresentano le amperspire assorbite dal traferro rapportate ad una lunghezza unitaria di circuito-magnetico.

***

Come esempio d'applicazione della trattazione svolta consideriamo il caso di un induttore rispondente ai seguenti dati:

$$S = 22{,}5\cdot 10^{-4}\ m^2 \qquad l = 0{,}795\ m \qquad N = 1240 \text{ spire}$$

La caratteristica di magnetizzazione del lamierino magnetico sia quella di fig. 2 che, come abbiamo visto, è rappresentabile con la formula:

$$H = 175\,B + 100\,B^3 + 19\,B^{11}$$

Poichè peraltro vi sono due giunti magnetici dello spessore complessivo di $0{,}95\cdot 10^{-4}$ m, dobbiamo aggiungere al coefficiente del termine lineare la quantità:

$$\frac{10^7}{4\pi}\frac{0{,}95\cdot 10^{-4}}{0{,}795} = 95$$

e la caratteristica da considerare diviene in conformità:

$$H = 270\,B + 100\,B^3 + 19\,B^{11}$$

Poichè inoltre per $n = 11$ è:

$$19\cdot\frac{1}{2^{n-1}}\binom{n}{\frac{n-1}{2}} = 19\cdot 0{,}451 = 8{,}57$$

applicando la (53') abbiamo:

$$y_1(\mathscr{B}_1) = 270\,\mathscr{B}_1 + 75\,\mathscr{B}_1^3 + 8{,}57\,\mathscr{B}_1^{11} \quad \text{As/m}$$

La curva corrispondente è tracciata in fig. 20.

L'induttore sia ora alimentato, in serie con un condensatore della capacità di C_μ microfarad, da una tensione sinusoidale di $\mathscr{E}/\sqrt{2} = 500$ V efficaci con una frequenza di 50 p/s. Allora secondo l'equazione (55')

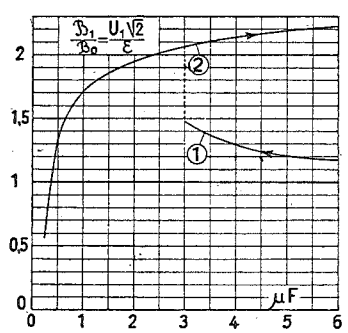

Fig. 21

Fig. 21. – Coefficiente di risonanza del termine armonico fondamentale della d.d.p. ai morsetti dell'induttore in funzione della capacità inserita, per il circuito di cui alla fig. 20.

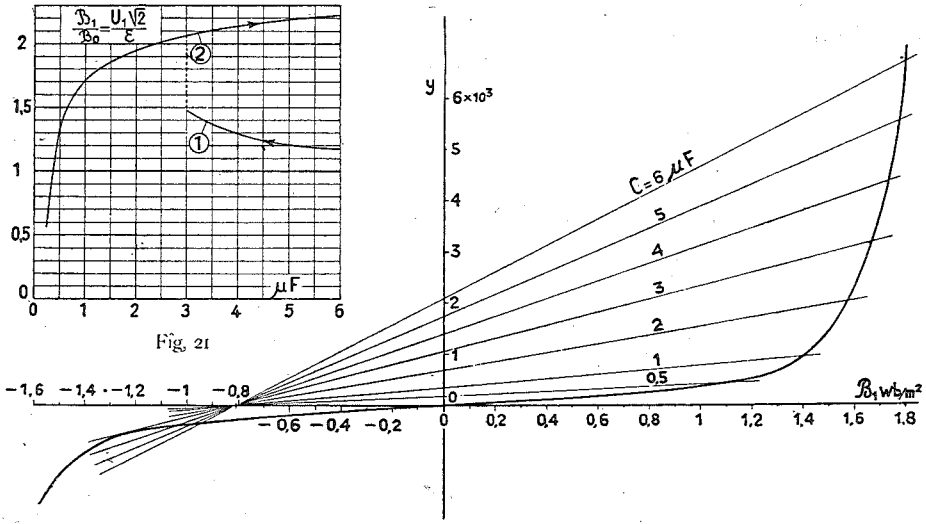

Fig. 20

Fig. 20. – Applicazione concreta del diagramma di fig. 19 al caso di un circuito pseudo-armonico con induttore delle seguenti caratteristiche: $S = 22{,}5\cdot 10^{-4}$ m²; $l = 0{,}795$ m; $N = 1240$ spire; Traferro $\delta = 0{,}95\cdot 10^{-4}$ m; Curva di magnetizzazione del lamierino come in fig. 2; Tensione di alimentazione 500 V efficaci a 50 p/s. Le ascisse rappresentano le ampiezze del termine armonico fondamentale dell'induzione.

le rette $y_0(\mathscr{B}_1)$ intersecano in fig. 20 l'asse delle ascisse nel punto di ascissa:

$$-\frac{500\cdot\sqrt{2}}{314\cdot 1240\cdot 22{,}5\cdot 10^{-4}} = -0{,}81 \text{ wb/m}^2$$

ed hanno un coefficiente angolare dato da:

$$\frac{dy}{d\mathscr{B}_1} = \frac{314^2\cdot 1240^2\cdot 22{,}5\cdot 10^{-4}}{0{,}795}\,10^{-6}\cdot C_\mu = 430\,C_\mu \frac{\text{As/m}}{\text{wb/m}^2}$$

Ad ogni valore di C_μ (1; 2; 3 . . .) corrisponde quindi subito una retta che, con le sue intersezioni con la curva $y_1(\mathscr{B}_1)$, determina i valori del termine fondamentale dell'induzione. Ad esempio per $C_\mu = 4\mu F$ risulta $\mathscr{B}_1 = 1{,}04$ in regime debole e $\mathscr{B}_1 = 1{,}74$ in regime forte. Se poi C_μ è inferiore a $3\mu F$ il regime debole non può verificarsi perchè le rette non intersecano la curva dalla parte delle $\mathscr{B}_1$ negative.

Nella fig. 21, ricavata dalla precedente, si è rappresentato, in funzione della capacità inserita, *il coefficente*

di risonanza fondamentale del circuito inteso come rapporto tra il termine fondamentale della differenza di potenziale agli estremi dell'induttore e la tensione di alimentazione. Tale rapporto eguaglia evidentemente quello tra l'ampiezza del termine fondamentale dell'induzione e l'ampiezza dell'induzione che si avrebbe applicando direttamente ai morsetti dell'induttore la tensione di 500 V efficaci e che qui vale, come è facile vedere, proprio 0,81 wb/m².

Come apparirà dall'esempio numerico svolto al numero seguente, questi diagrammi presentano solo una piccola differenza rispetto a quelli analoghi che si otterrebbero tenendo conto anche della dissipazione del circuito.

Resterebbe ora da calcolare l'entità dei termini armonici superiori dell'induzione ma su ciò torneremo al prossimo numero.

11. – Ferro-risonanza nei circuiti dissipativi.

Vogliamo ora estendere la trattazione sviluppata al numero precedente in modo da tener conto anche dell'aspetto dissipativo che caratterizzeremo ancora con una resistenza complessiva R ed una conduttanza g corrispondente alle perdite nel ferro e quindi funzione della pulsazione della f.e.m. applicata (formula 2).

Il problema si traduce allora in quello di determinare le soluzioni periodiche della equazione generale (3) del circuito pseudo-armonico per una f.e.m. applicata $e(t)$ del tipo (49).

Come già abbiamo fatto nello studio della ferro-risonanza non dissipativa, cominceremo col riferirci ad una caratteristica semplificata del tipo (48) e passeremo poi al caso generale per la cui dimostrazione si rinvia all'Appendice. Nelle condizioni specificate, essendo:

$$i'(\varphi) = a_1 + 3\,a_3\,\varphi^2$$

la (3) diviene:

$$(1 + R\,g)\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \left[R\,(a_1 + 3\,a_3\,\varphi^2) + \frac{g}{C}\right]\frac{d\varphi}{dt} + \frac{1}{C}\,(a_1\,\varphi + a_3\,\varphi^3) = \omega\,\mathcal{E}\cos\omega t \qquad (56)$$

e noi ricercheremo le soluzioni periodiche di questa equazione non lineare utilizzando ancora il metodo delle approssimazioni successive.

Come prima approssimazione scegliamo la soluzione del caso lineare:

$$\varphi_{(1)} = \Phi_1 \cos\vartheta$$

con:

$$\vartheta = \omega t - \gamma$$

ove ampiezza Φ_1 e angolo di perdita γ sono due costanti da determinare in modo opportuno.

Sostituiamo ora nella (56) φ con $\varphi_{(1)}$ e $d\varphi/dt$ con:

$$\frac{d\varphi_{(1)}}{dt} = -\omega\,\Phi_1 \sin\vartheta$$

Allora sviluppando le potenze delle funzioni circolari, integrando due volte e ponendo eguali a zero le costanti arbitrarie, otteniamo la seconda approssimazione:

$$\varphi_{(2)} = \frac{1}{(1 + R\,g)\,\omega}\left\{-\left[R\,(a_1\,\Phi_1 + \tfrac{3}{4}\,a_3\,\Phi_1^3) + \frac{g}{C}\,\Phi_1 - \mathcal{E}\sin\gamma\right]\sin\vartheta + \left[\frac{1}{\omega\,C}\,(a_1\,\Phi_1 + \tfrac{3}{4}\,a_3\,\Phi_1^3) - \mathcal{E}\cos\gamma\right]\cos\vartheta - \frac{R\,a_3\,\Phi_1^3}{12}\sin 3\,\vartheta + \frac{a_3\,\Phi_1^3}{36\,\omega\,C}\cos 3\,\vartheta\right\}$$

Ponendo poi la condizione che il termine armonico fondamentale sia lo stesso tanto nella prima quanto nella seconda approssimazione, ricaviamo in questo caso non più una ma due equazioni atte ad individuare i possibili valori delle due incognite Φ_1 e γ. Risulta precisamente:

$$\left.\begin{aligned} &\tfrac{3}{4}\,a_3\,\Phi_1^3 + a_1\,\Phi_1 - \omega^2\,C\,(1 + R\,g)\,\Phi_1 = \omega\,C\,\mathcal{E}\cos\gamma \\ &R\,(\tfrac{3}{4}\,a_3\,\Phi_1^3 + a_1\,\Phi_1) + \frac{g}{C}\,\Phi_1 = \mathcal{E}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \qquad (57)$$

La seconda approssimazione $\varphi_{(2)}$ si può ora scrivere compendiosamente:

$$\varphi_{(2)} = \Phi_1\cos(\omega t - \gamma) + \frac{a_3\,\Phi_1^3}{12\,(1 + R\,g)\,\omega}\cdot\sqrt{R^2 + \frac{1}{9\,\omega^2\,C^2}}\cdot\cos 3\,(\omega t - \gamma + \psi)$$

ponendo:

$$\psi = \tfrac{1}{3}\,\mathrm{arctg}\,3\,R\,\omega\,C$$

Procedendo poi a successive approssimazioni nel modo indicato, si ricaverebbe per le soluzioni periodiche una formula del tipo:

$$\varphi(t) = \Phi_1\cos(\omega t - \gamma) + \sum_{r=3}^{n}\Phi_r\cos r\,(\omega t - \gamma + \psi_r) \qquad (58)$$

in cui le costanti Φ_1 e γ dipendono a loro volta da Φ_1 oltre che dalle caratteristiche del circuito.

Si vede dunque che la dissipazione del circuito pseudo-armonico, oltre a provocare uno spostamento di fase del termine fondamentale di φ, provoca anche uno spostamento di entità diversa degli armonici superiori.

Ciò si traduce nella caratteristica deformazione delle semionde che la fig. 17 mette in evidenza per la d.d.p. $u = d\varphi/dt$. Tale deformazione non si presenterebbe invece se il sistema fosse conservativo (formula 54) perchè in tal caso risulterebbe $\psi_r = 0$ (oltre a $\gamma = 0$).

Passando ora senz'altro al caso generale, trattato in Appendice, di una caratteristica $i(\varphi)$ qualunque, valgono le conclusioni seguenti. Anzitutto le (57) si generalizzano come segue:

$$\left.\begin{aligned} &y_1(\Phi_1) - \omega^2\,C\,(1 + R\,g)\,\Phi_1 = \omega\,C\,\mathcal{E}\cos\gamma \\ &R\,y_1(\Phi_1) + \frac{g}{C}\,\Phi_1 = \mathcal{E}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \qquad (57')$$

essendo $y_1(\Phi_1)$ definito ancora dalla (53). Dalle (57') posto:

$$\varepsilon(\Phi_1) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\left[\frac{y_1(\Phi_1)}{\omega\,C} - \omega\,(1 + R\,g)\,\Phi_1\right]^2 + \left[R\,y_1(\Phi_1) + \frac{g}{C}\,\Phi_1\right]^2} \qquad (59)$$

si ricava allora, eliminando γ, l'equazione determinante i possibili valori assoluti di Φ_1:

$$\varepsilon(\Phi_1) - \frac{\mathcal{E}}{\sqrt{2}} = 0 \qquad (57'')$$

A questo punto dobbiamo affidarci alla rappresentazione grafica disegnando la funzione $\varepsilon(\Phi_1)$ e determinandone le intersezioni con la retta parallela all'asse Φ_1 a distanza $\mathcal{E}/\sqrt{2}$ da questo. Ora la curva che rappresenta la $\varepsilon(\Phi_1)$ può essere di forma diversa a seconda che $\omega^2 C(1 + Rg) \leqslant a_1$ oppure che $\omega^2 C(1 + Rg) > a_1$.

Precisamente se:

$$\omega^2 C(1 + R g) < a_1$$

detta curva ha l'andamento indicato in fig. 22 e quindi si ha un solo regime di funzionamento. Dal confronto con il caso limite di dissipazione trascurabile (fig. 19) si vede poi subito che nelle suddette condizioni è $\Phi_1 < 0$ e quindi il regime è capacitivo. Le stesse condizioni si verificano anche se:

$$\omega^2 C(1 + R g) > a_1$$

qualora la dissipazione sia tanto forte da rendere il secondo termine sotto radice della (59) preponderante rispetto al primo.

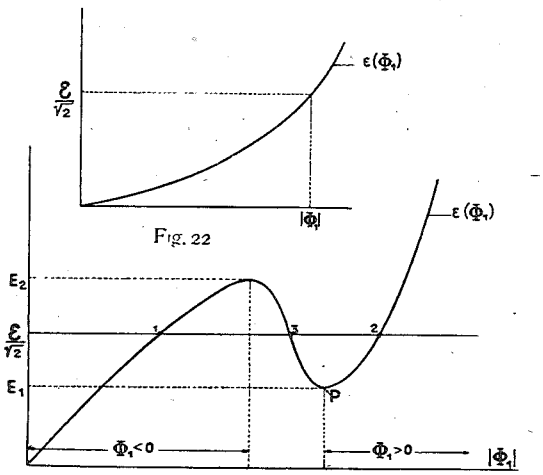

Fig. 22

Fig. 23

Fig. 22. – Diagramma per la determinazione delle oscillazioni forzate dissipative di un circuito pseudo armonico. Caso in cui:

$$\omega^2 C(1 + R g) < a_1$$

La curva $\varepsilon(\Phi_1)$ è definita dalla formula (59).

Fig. 23. – Lo stesso diagramma di fig. 22 per il caso in cui:

$$\omega^2 C(1 + R g) > a_1$$

Ma supponiamo che, come appunto avviene in pratica, la dissipazione del circuito abbia un valore moderato. Allora, quando è verificata l'ultima diseguaglianza scritta, la curva rappresentativa della (59) assume l'andamento indicato in fig. 23; in tali condizioni detti E_1 ed E_2 i valori assunti da $\varepsilon(\Phi_1)$ in corrispondenza al punto di minimo, rispettivamente di massimo, se è soddisfatta la diseguaglianza:

$$E_1 < \frac{\mathcal{E}}{\sqrt{2}} < E_2$$

si realizza la possibilità di due diversi regimi di funzionamento, due e non tre perchè un punto come 3 deve corrispondere ad un regime instabile avendosi una diminuzione di Φ_1 con l'aumentare di $\mathcal{E}$ e viceversa.

Dal confronto con il corrispondente caso limite di dissipazione trascurabile (fig. 19) si vede poi che in fig. 23:

— ad un punto come 1 (regime debole) corrisponde $\Phi_1 < 0$ e quindi si tratta di un regime induttivo;

— al contrario ad un punto come 2 (regime forte) corrisponde $\Phi_1 > 0$ e quindi il regime è capacitivo.

Si noti poi che nella fig. 23 è eliminata l'incongruenza fatta rilevare nel caso ideale della fig. 19; si vede infatti che per $\mathcal{E} < E_1 \cdot \sqrt{2}$ il regime forte scompare bruscamente e resta, come regime possibile, solo quello debole che tende ad annullarsi per $\mathcal{E}$ tendente a zero.

Nei riguardi dell'angolo di perdita γ possiamo fare le seguenti osservazioni. Anzitutto tale angolo per la seconda delle (57') vale:

$$\gamma = \arcsin \frac{1}{\mathcal{E}} \left[R\, y_1(\Phi_1) + \frac{g}{C} \Phi_1 \right] \qquad (60)$$

ed è quindi positivo in regime forte ($\Phi_1 > 0$) e negativo in regime debole ($\Phi_1 < 0$). La formula scritta mostra poi che il valore assoluto di γ è tanto maggiore quanto maggiore è $|\Phi_1|$; nel regime forte $|\gamma|$ è quindi notevolmente più grande che in regime debole come appunto risulta dagli oscillogrammi riportati nelle fig. 17 e 18.

Esiste poi una condizione di funzionamento in regime forte per la quale γ raggiunge addirittura il valore di 90° e questa condizione è rappresentata in fig. 23 da un punto quasi coincidente con quello di minimo P (punto limite inferiore del regime forte).

Infatti quando si annulla il primo quadrato sotto radicale della (59) la $\varepsilon(\Phi_1)$ assume il valore:

$$\varepsilon(\Phi_1) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[R\, y_1(\Phi_1) + \frac{g}{C} \Phi_1 \right]$$

che differisce pochissimo dal suo minimo. Se in queste condizioni si elimina $\mathcal{E}$ dalla (60) mediante la (57'') si ottiene appunto:

$$\gamma = \arcsin 1 = 90°$$

Ora quando $\gamma = 90°$ il termine fondamentale di φ risulta in fase con la tensione di alimentazione e quindi il termine fondamentale della caduta reattiva nell'induttore è in quadratura con quest'ultima. Il circuito si comporta quindi, nei riguardi di tali termini fondamentali, come un circuito *ohmico*.

Questa è notoriamente una delle caratteristiche essenziali della *risonanza* dei circuiti lineari. Sussiste però la importante differenza che mentre nei circuiti oscillanti lineari il comportamento ohmico si verifica, una volta realizzate determinate relazioni tra capacità, induttanza e frequenza, *indipendentemente* dal valore della tensione applicata, qui il fenomeno avviene *solo quando il valore efficace della tensione applicata sia eguale, all'incirca, al valore minimo di* $\varepsilon(\Phi_1)$. Si tratta poi di un funzionamento instabile nel senso che se la tensione decresce anche di poco, il regime ohmico scompare bruscamente.

Infine per quanto riguarda lo sviluppo effettivo della soluzione $\varphi(t)$, che supporremo anche qui rappresentato dalla sua seconda approssimazione, vale ancora la formula (58) assumendo per l'ampiezza Φ_r del generico termine armonico superiore di ordine r ($\geqslant 3$) l'espressione:

$$\Phi_r = \frac{\sqrt{R^2 + \dfrac{1}{r^2 \omega^2 C^2}}}{r \omega (1 + R g)}\, y_r(\Phi_1) \qquad (61)$$

in cui le $y_r(\Phi_1)$ sono date sempre dalla (52) mentre per il generico angolo ψ_r si ha:

$$\psi_r = \frac{1}{r} \operatorname{arctg} r \omega C R \qquad (62)$$

e per γ vale, naturalmente, la (60).

Le deduzioni sviluppate con riferimento alle concatenazioni φ, si applicano poi alla corrente i circolante

nel circuito in base alla relazione fondamentale (1):

$$i = i(\varphi) + g\frac{d\varphi}{dt}$$

Questa grandezza assume quindi la forma:

$$i = i(\varphi) - \omega g \sum_{r=1}^{n} r\,\Phi_r \cos r(\omega t - \gamma + \psi_r)$$

con Φ_r e ψ_r definiti rispettivamente dalla (61) o dalla (62) per $r \geqslant 3$ e $\psi_1 = 0$.

***

Se, come già fatto precedentemente, vogliamo riferirci all'induzione ed alla caratteristica $H(B)$, anzichè alle concatenazioni φ ed alla caratteristica $i(\varphi)$, otteniamo in luogo della (59):

$$\varepsilon(\mathscr{B}_1) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\left[\frac{l}{N\omega C}y_1(\mathscr{B}_1) - (1+Rg)\,\omega NS\mathscr{B}_1\right]^2 + \left[\frac{Rl}{N}y_1(\mathscr{B}_1) + NS\frac{g}{C}\mathscr{B}_1\right]^2} \qquad (59')$$

con $y_1(\mathscr{B}_1)$ espresso dalla (53'). L'equazione determinante $\mathscr{B}_1$ risulta:

$$\varepsilon(\mathscr{B}_1) - \frac{\mathscr{E}}{\sqrt{2}} = 0$$

A sua volta la (60) diviene:

$$\gamma = \arcsin\frac{1}{\mathscr{E}}\left[\frac{Rl}{N}y_1(\mathscr{B}_1) + \frac{NSg}{C}\mathscr{B}_1\right] \qquad (60')$$

mentre per l'ampiezza $\mathscr{B}_r$ del generico termine armonico superiore dell'induzione si ha, in analogia con la (61):

$$\mathscr{B}_r = \frac{l}{N^2 S}\,\frac{\sqrt{R^2 + \dfrac{1}{r^2\omega^2 C^2}}}{r\omega(1+Rg)}\,y_r(\mathscr{B}_1) \qquad (61')$$

in cui le $y_r(\mathscr{B}_1)$ sono date dalle (52').

***

Vogliamo ora sviluppare una applicazione numerica riferendoci al caso concreto già considerato al numero precedente nella ipotesi di dissipazione trascurabile. In aggiunta ai dati ivi specificati supponiamo che si abbia per l'induttore una resistenza:

$$R = 50 \text{ ohm}$$

e che la perdita specifica nel ferro a 50 p/s e con l'induzione di 1 wb/m² sia di 2,3 W/kg. Poichè il peso del nucleo magnetico ammonta a 14 kg la perdita totale nelle stesse circostanze è quindi:

$$W_f = 2{,}3 \cdot 14 = 32{,}2\ W$$

La conduttanza equivalente g si può ottenere dividendo detta perdita per il quadrato della tensione efficace indotta nell'induttore da una variazione dell'induzione di ampiezza $\mathscr{B}_1 = 1$, cioè mediante la formula:

$$g = \frac{W_f}{\left(\dfrac{\omega N S \mathscr{B}_1}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

Sostituendo i valori numerici si ricava:

$$g \cong 0{,}8 \cdot 10^{-4} \text{ mho}$$

Noi per semplicità di calcolo supporremo g costante ed uguale al valore calcolato (per $\mathscr{B}_1 = 1$), ciò che equivale ad ammettere W_f variabile con il quadrato di $\mathscr{B}_1$, quantunque non vi sia alcuna difficoltà e tener conto, punto per punto, del valore effettivo di g.

Sostituendo allora i vari valori numerici nella formula (59') otteniamo:

$$\varepsilon(\mathscr{B}_1) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{[0{,}51\,y_1(\mathscr{B}_1) - 880\,\mathscr{B}_1]^2 + [0{,}032\,y_1(\mathscr{B}_1) + 55{,}8\,\mathscr{B}_1]^2}$$

vale a dire:

$$\varepsilon(\mathscr{B}_1) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{0{,}261\,y_1(\mathscr{B}_1)^2 + 778100\,\mathscr{B}_1^2 - 895\,\mathscr{B}_1 y_1(\mathscr{B}_1)}$$

essendo $y_1(\mathscr{B}_1)$ ancora espresso, come al numero precedente, dalla relazione:

$$y_1(\mathscr{B}_1) = 270\,\mathscr{B}_1 + 75\,\mathscr{B}_1^3 + 8{,}57\,\mathscr{B}_1^{11}$$

La funzione $\varepsilon(\mathscr{B}_1)$ è rappresentata in fig. 24 e le sue intersezioni estreme con la retta corrispondente alla tensione efficace di alimentazione (500 V), individuano i valori del termine fondamentale dell'induzione tanto per il regime forte ($\mathscr{B}_1 = 1{,}735$) quanto per il regime debole ($\mathscr{B}_1 = 1$).

Si trova dunque che, in questo caso, l'effetto della dissipazione sull'ampiezza del termine fondamentale dell'induzione è praticamente trascurabile.

La fig. 25 ricavata dalla precedente rappresenta, sempre per $C = 4$ μF, l'andamento di $\mathscr{B}_1$ per i due regimi in funzione del valore efficace della tensione di alimentazione.

Naturalmente qui il termine fondamentale $\mathscr{B}_1$ non è più in quadratura con la tensione applicata ma si trova anticipato (in regime forte) ovvero ritardato (in regime debole), rispetto alla f.e.m. applicata, di un angolo $90° - \gamma$ essendo γ espresso dalla formula (60') che, sostituendo i dati numerici, diviene:

$$\gamma = \arcsin\frac{32 \cdot 10^{-3}\,y_1(\mathscr{B}_1) + 55{,}8\,\mathscr{B}_1}{\mathscr{E}}$$

Per una tensione di 500 V efficaci risulta $\gamma = +20°$ in regime forte e $\gamma = -5°30'$ in regime debole.

Se poi si fanno corrispondere i valori di $\mathscr{B}_1$ a quelli di $\mathscr{E}$ secondo la fig. 25, si può tracciare (fig. 26) γ in funzione della tensione di alimentazione (valore efficace) per entrambi i regimi debole e forte. La fig. 26 mostra, in accordo con le precedenti deduzioni, che per una tensione efficace di 130 V, eguale al valore minimo di $\varepsilon(\mathscr{B}_1)$, diventa possibile il regime forte ohmico ($\gamma = 90°$).

Quanto agli angoli ψ_r, questi si ricavano subito dalla (62); risulta ad esempio:

$$\psi_3 = 3°\,33' \quad ; \quad \psi_5 = 3°\,30' \quad ; \quad \psi_7 = 3°\,23'$$

Vogliamo ora calcolare l'entità dei termini armonici superiori dell'induzione. A tale scopo, dalla (52') abbiamo anzitutto:

$$y_3(\mathscr{B}_1) = \frac{1}{4}\binom{3}{0}\cdot 100\,\mathscr{B}_1^3 + \frac{1}{1024}\binom{11}{4}\cdot 10\,\mathscr{B}_1^{11} = 25\,\mathscr{B}_1^3 + 6{,}12\,\mathscr{B}_1^{11}$$

$$y_5(\mathscr{B}_1) = \frac{1}{1024}\binom{11}{3}\cdot 19\,\mathscr{B}_1^{11} = 3{,}06\,\mathscr{B}_1^{11}$$

$$y_7(\mathscr{B}_1) = \frac{1}{1024}\binom{11}{2}\cdot 19\,\mathscr{B}_1^{11} = 1{,}02\,\mathscr{B}_1^{11}$$

eccetera. Inoltre la (61′) dà:

$$\mathcal{B}_r = \frac{0{,}795}{1240^2 \cdot 22{,}5 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{\sqrt{50^2 + \dfrac{10^{12}}{r^2 \cdot 314^2 \cdot 4^2}}}{r \cdot 314 \cdot 1{,}004} y_r(\mathcal{B}_1)$$

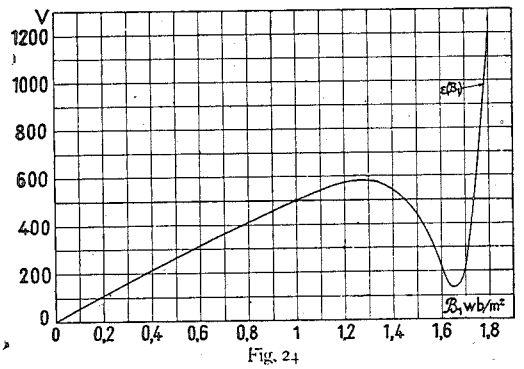

Fig. 24

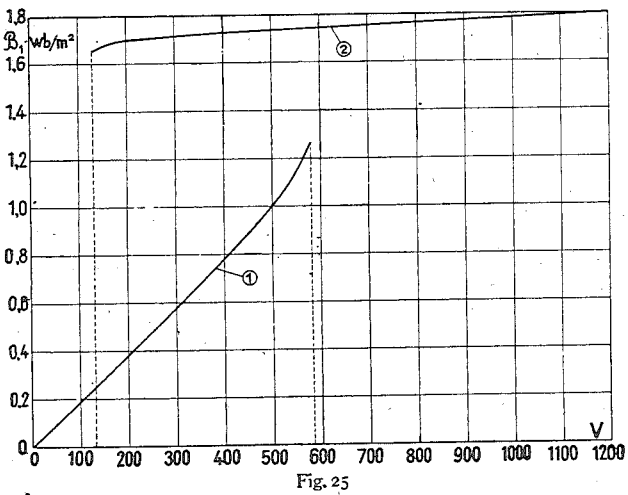

Fig. 25

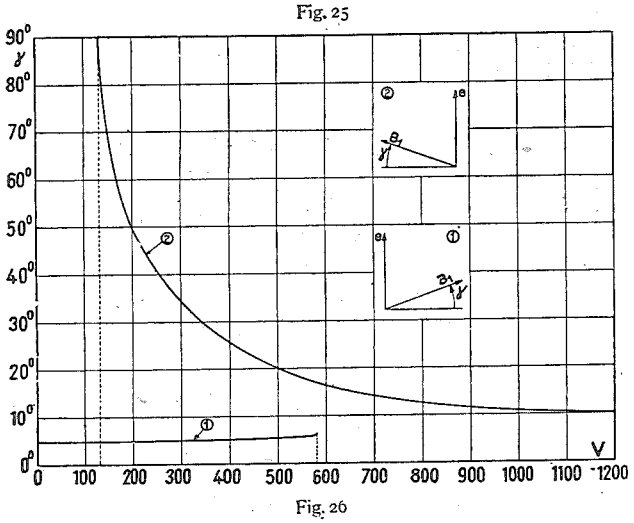

Fig. 26

Fig. 24. – Applicazione concreta del diagramma di fig. 23 al caso del circuito pseudo-armonico di cui alla fig. 20 ma con i seguenti valori dei parametri dissipativi: resistenza dell'induttore $R = 50$ ohm; conduttanza corrispondente alle perdite nel ferro $g = 0{,}8 \cdot 10^{-4}$ mho. Inoltre la capacità inserita è supposta di 4 μF. Le ascisse rappresentano qui le ampiezze del termine armonico fondamentale dell'induzione.

Fig. 25. – Ampiezza calcolata del termine armonico fondamentale dell'induzione in funzione della tensione applicata (valore efficace) per il circuito di cui alla fig. 24. Curva (1): regime debole. Curva (2): regime forte.

Fig. 26. – Variazione calcolata dell'angolo di perdita γ in funzione della tensione di alimentazione per il circuito di cui alla fig. 24.

Assumendo allora per l'ampiezza $\mathcal{B}_1$ del termine fondamentale i valori già determinati, corrispondenti ad $\mathcal{E} = 500 \cdot \sqrt{2}$ V e $C = 4$ μF, si ricava:

	Regime debole	Regime forte
$\mathcal{B}_3$	0,2% $\mathcal{B}_1$	10,42% $\mathcal{B}_1$
$\mathcal{B}_5$	~0	1,85% $\mathcal{B}_1$
$\mathcal{B}_7$	~0	03,3% $\mathcal{B}_1$

Appare quindi che la deformazione dell'induzione, trascurabile in regime debole, non è qui molto notevole neanche in regime forte. Detta deformazione crescerebbe peraltro assai rapidamente con il crescere di $\mathcal{B}_1$. Deformazioni molto maggiori si verificano nella tensione u ai morsetti dell'induttore e, conseguentemente, nella tensione ai morsetti del condensatore (figura 27). Infatti ad ogni termine armonico d'induzione corrisponde un termine armonico di tensione indotta proporzionale al suo numero d'ordine. Se ne deducono subito per le ampiezze U_r dei termini armonici della tensione u, in regime forte, i valori:

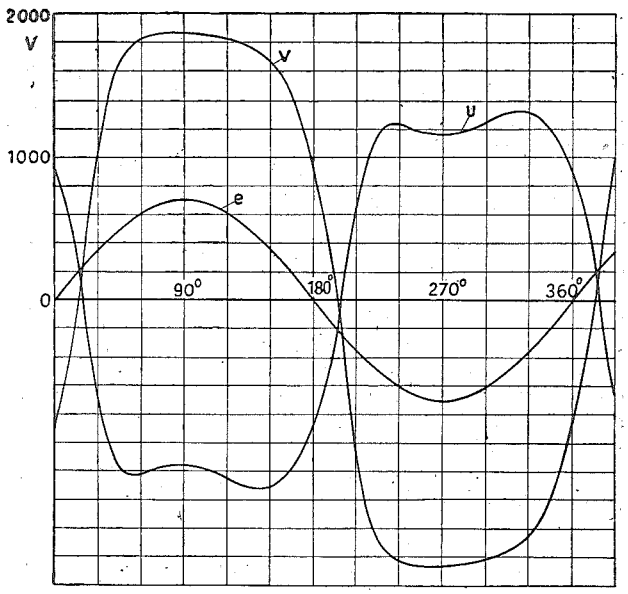

Fig. 27. – Andamento calcolato della d.d.p. u ai morsetti dell'induttore e v al condensatore in regime forte per il circuito di cui alla fig. 24. Nella determinazione di v si è trascurata, per semplicità, la caduta ohmica. La e rappresenta la tensione applicata al circuito.

Ordine armonica	1	3	5	7
Ampiezza in % di U_1	100	31	9,3	2,3

e l'espressione esplicita di u, avendosi qui;

$$U_1 = N \cdot \omega \cdot \mathcal{B}_1 \cdot S = 1240 \cdot 314 \cdot 1{,}735 \cdot 22{,}5 \cdot 10^{-4} = 1520 \text{ V}$$

risulta:

$$u(\omega t) = 1520\,[\sin(\omega t - 20^\circ) + 0{,}31 \sin 3(\omega t - 16^\circ 27') + 0{,}093 \sin 5(\omega t - 16^\circ 30') + 0{,}023 \sin 7(\omega t - 16^\circ 37') + \ldots]$$

La fig. 27 mostra che l'andamento calcolato di u è molto simile a quello messo in evidenza dall'oscillogramma di fig. 18 (riferentesi, peraltro, ad un caso numerico diverso).

Volendo infine determinare le oscillazioni della corrente circolante nel circuito dobbiamo applicare la formula fondamentale (1) che, facendo comparire l'induzione in luogo delle concatenazioni magnetiche, si scrive:

$$i = \frac{l}{N} H(B) + g N S \frac{dB}{dt}$$

Avremo quindi come espressione della corrente:

$$i = \frac{0{,}795}{1240} H(B) + 0{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot 1240 \cdot 22{,}5 \cdot 10^{-4} \frac{dB}{dt}$$

vale a dire:

$$i = 0{,}642 \cdot 10^{-3} H(B) + 2{,}24 \cdot 10^{-4} \frac{dB}{dt}$$

12. – INTEGRAZIONE NUMERICA. – METODO GENERALE DI CAUCHY-LIPSCHITZ.

In luogo delle trattazioni sin qui sviluppate, ed agli effetti del calcolo numerico di un ben definito caso particolare, può essere talora conveniente far ricorso ai metodi d'integrazione grafico-numerica tutti derivati, più o meno, da quello fondamentale di Cauchy-Lipschitz cui ora accenneremo. L'uso di tali metodi può ritenersi addirittura indispensabile quando si voglia calcolare la risposta del circuito pseudo-armonico ad una tensione transitoria di forma generica.

Naturalmente metodi siffatti permettono di determinare i valori numerici di una soluzione alla volta, dipendentemente da ben definite condizioni iniziali e, nel caso delle variazioni forzate, per una data tensione applicata. È quindi necessario, per formarsi un'idea del comportamento generale del sistema, di procedere al tracciamento di un conveniente numero di soluzioni.

Del metodo fondamentale di Chauchy-Lipschitz qui daremo soltanto un breve cenno con specifico riferimento al caso in cui la dissipatività del circuito sia rappresentata dalla sola resistenza R.

Riprendiamo l'equazione generale (3) del circuito pseudo-armonico dissipativo, nell'ipotesi $g = 0$:

$$\varphi'' = -\frac{1}{C} i(\varphi) - R i'(\varphi) \varphi' + e'(t) \qquad (3')$$

con $e'(t) = 0$ nel caso delle variazioni libere ovvero nel caso della carica del condensatore sotto una f.e.m. costante. Siano inoltre φ_0 e φ'_0 i valori iniziali di φ e della sua derivata per $t = 0$. Indicando con h un intervallo generico di tempo, la soluzione cercata all'istante $t+h$ può scriversi sotto forma di serie di Taylor:

$$\varphi(t+h) = \varphi(t) + h\varphi'(t) + \frac{h^2}{2!}\varphi''(t) + \frac{h^3}{3!}\varphi'''(t) + \ldots$$

e questa serie, per valori di h abbastanza piccoli, converge tanto più rapidamente quanto più h è limitato. Noi supporremo che h sia scelto abbastanza piccolo da poter trascurare, nello sviluppo di $\varphi(t+h)$, tutti i termini con potenze di h superiori al cubo e, nello sviluppo di $\varphi'(t+h)$, tutti i termini con potenze superiori al quadrato [11]. Porremo cioè:

$$\left.\begin{aligned} \varphi(t+h) &= \varphi(t) + h\varphi'(t) + \frac{h^2}{2}\varphi''(t) + \frac{h^3}{6}\varphi'''(t) \\ \varphi'(t+h) &= \varphi'(t) + h\varphi''(t) + \frac{h^2}{2}\varphi'''(t) \end{aligned}\right\} (63)$$

Allora per $t = 0$, dalla prima di queste formule abbiamo, scrivendo per semplicità φ_h in luogo $\varphi(h)$:

$$\varphi_h = \varphi_0 + h\varphi_0' + \frac{h^2}{2}\varphi''_0 + \frac{h^3}{6}\varphi_0'''$$

e dalla seconda, scrivendo φ'_h in luogo di $\varphi'(h)$:

$$\varphi'_h = \varphi'_0 + h\varphi''_0 + \frac{h^2}{2}\varphi_0'''$$

Ma φ_0 e φ' sono noti come dati iniziali mentre φ''_0 risulta subito dalla (3') sotto la forma:

$$\varphi''_0 = -\frac{1}{C} i(\varphi_0) - R i'(\varphi_0) \varphi'_0 + e'_0$$

e φ'''_0 si ottiene con una ulteriore derivazione della (3'):

$$\varphi_0''' = -\frac{1}{C} i'(\varphi_0) \varphi_0' - R\left[i''(\varphi_0) \varphi_0'^2 + i'(\varphi_0) \varphi_0''\right] + e_0''$$

Il valore φ_h di φ per $t = h$ è quindi determinato e così pure risultano noti φ'_h e φ''_h mentre per φ'''_h si può assumere il semplice rapporto incrementale:

$$\varphi_h''' = \frac{\varphi_h'' - \varphi_0''}{h}$$

Si può allora passare al calcolo di $\varphi_{2h} = \varphi(2h)$; basta porre $t = h$ nella prima delle (63) e si ottiene:

$$\varphi_{2h} = \varphi_h + h\varphi_h' + \frac{h^2}{2}\varphi_h'' + \frac{h^3}{6}\varphi_h'''$$

Per determinare poi il successivo valore $\varphi(3h) = \varphi_{3h}$ occorre anzitutto procurarsi i valori di φ'_{2h}, φ''_{2h} e φ'''_{2h}.

Ora il primo risulta senz'altro dalla seconda delle (63) ponendo $t = h$:

$$\varphi'_{2h} = \varphi'_h + h\varphi''_h + \frac{h^2}{2}\varphi'''_{2h}$$

mentre per φ''_{2h} si ha dall'equazione (3'):

$$\varphi''_{2h} = -\frac{1}{C} i(\varphi_{2h}) - R i'(\varphi_{2h}) \varphi'_{2h} + e'_{2h}$$

e per φ'''_{2h} si assume:

$$\varphi'''_{2h} = \frac{\varphi''_{2h} - \varphi''_h}{h}$$

Procedendo in questa guisa si perviene quindi a calcolare $\varphi(t) = \varphi(rh)$ per valori progressivamente crescenti di r ($r = 0; 1; 2; 3 \ldots$).

Naturalmente la scelta dell'intervallo di tempo h è essenziale per arrivare al risultato con uno stabilito grado di approssimazione. Senza dilungarci in osservazioni al riguardo noteremo soltanto che se si esegue il calcolo per due intervalli differenti ed i risultati differiscono in modo limitato, l'approssimazione raggiunta può ritenersi sufficiente.

Osserviamo infine che nel caso in cui la f.e.m. impressa sia una funzione periodica con valore iniziale non nullo, la soluzione calcolata contiene il termine perturbatore dipendente dalla brusca applicazione della $e(t)$ stessa.

***

Per illustrare con un esempio numerico il metodo esposto lo applicheremo ad un caso della massima semplicità. Si tratta di determinare il periodo delle oscillazioni libere, del piccolo circuito pseudo-armonico già studiato in altro modo al N. 6, susseguenti la scarica del condensatore caricato alla tensione iniziale v_0 di di 400 V (ovvero, ciò che fa lo stesso, susseguenti l'applicazione di una f.e.m. costante di 400 V al circuito inizialmente a riposo.

[11] Naturalmente quanto maggiore è il numero di termini che si considerano, tanto più grande può essere scelto l'intervallo h, fermo restando il grado di approssimazione del calcolo numerico. In pratica il numero di termini indicato è il più conveniente.

Ci riferiremo, anche in quest'esempio numerico, direttamente alle induzioni B, anzichè alle concatenazioni φ, ed alla caratteristica $H(B)$ che è sempre quella rappresentata in fig. 2.

L'equazione da considerare è la (7), che, scritta coi nuovi simboli, diviene:

$$\frac{d^2 B}{d t^2} = -\frac{l}{N^2 S C} H(B) = -\frac{0{,}1 \cdot H(B)}{5000^2 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-6}}$$

vale a dire:

$$\frac{d^2 B}{d t^2} = -80\, H(B)$$

Come valore iniziale di B assumiamo $B_0 = 0$. L'altro dato iniziale è la derivata $B'_0 = dB/dt$ per $t = 0$. Per questa si ha:

$$B'_0 = \frac{\varphi'_0}{N S} = \frac{v_0}{N S} = \frac{400}{5000 \cdot 10^{-4}} = 800$$

La derivata seconda, conformemente all'equazione, è nulla per $t = 0$ avendo supposto nullo B_0. Infine il valore iniziale della derivata terza risulta espresso, derivando l'equazione differenziale, da:

$$B_0''' = -80 \left(\frac{dH}{dB}\right)_0 \cdot B'_0$$

Ora secondo la caratteristica $H(B)$ di fig. 2 la tangente iniziale (apparente) risulta:

$$\left(\frac{dB}{dH}\right)_0 = 175 \frac{\text{As/m}}{\text{wb/m}^2}$$

Si ottiene quindi:

$$B'''_0 = -80 \cdot 175 \cdot 800 = -11{,}2 \cdot 10^6$$

Noti così i valori iniziali di B e delle derivate prima, seconda e terza ed assunto un intervallo di tempo:

$$h = 2 \cdot 10^{-4} \text{ sec}$$

possiamo scrivere, tenendo presenti le (61):

$$\left.\begin{aligned} B_{r+1} &= B_r + 2 \cdot 10^{-4} B_r' + 2 \cdot 10^{-8} B_r'' + 1{,}335 \cdot 10^{-12} B_r''' \\ B'_{r+1} &= B'_r + 2 \cdot 10^{-6} B_r'' + 2 \cdot 10^{-8} B_r''' \\ B''_{r+1} &= -80\, H(B_{r+1}) \\ B_{r+1}''' &= \frac{B_{r+1}'' - B_r''}{h} \end{aligned}\right\}$$

Mediante queste relazioni, e tenendo conto della curva $H(B)$ di fig. 2, si è calcolata la tabella II.

TABELLA II.

$t \times 10^3$ sec.	B	$H(B)$	B'	$B'' \times 10^{-3}$	$B''' \times 10^{-6}$
0	0	0	800	0	— 11,2
0,2	0,16	80	799,8	— 6,4	— 32
0,4	0,32	100	797,8	— 8	— 8
0,6	0,479	120	796,1	— 9,6	— 8
0,8	0,638	140	794	— 11,2	— 8
1	0,797	170	791,6	— 13,6	— 12
1,2	0,955	230	788,6	— 18,4	— 24
1,4	1,11	400	784,5	— 32	— 68
1,6	1,268	800	776,7	— 64	— 160
1,8	1,422	1600	760,7	— 128	— 320
2	1,571	3300	728,7	— 264	— 680
2,2	1,711	8150	682,3	— 652	—1940
2,4	1,828	15500	493,1	—1264	—3060
2,6	1,897	22600	179,1	—1808	—2720
2,8	1,893	22500	—236,9	—1800	+ 40
3	1,81	—	—	—	—

La fig. 28 rappresenta le curve di oscillazione dell'induzione B e della d.d.p. v al condensatore che vale:

$$v = N S B' = 0{,}5\, B'$$

Lo sviluppo di Fourier di queste curve dà i seguenti valori per le ampiezze dei termini armonici in rapporto ai valori massimi:

Ordine dell'armonica r	1	3	5	7	9
Ampiezza $\mathscr{B}_r$ in % di $\mathscr{B}$	89,7	7,7	2,22	0,38	—
Ampiezza $\mathscr{V}_r$ in % di $\mathscr{V} = v_0$	124	33,4	14,7	7	1,7

La tensione v è dunque, come del resto mostra la figura, notevolmente deformata.

I valori del periodo ($T = 2{,}69 \times 4 = 10{,}75 \cdot 10^{-3}$ sec) e del massimo di oscillazione ($\mathscr{B} = 1{,}9$ wb/m²) coincidono poi praticamente con quelli ottenuti mediante i diagrammi precalcolati del N. 6 ovvero, per quanto riguarda il periodo, mediante la formula esplicita (13') riportata al N. 7.

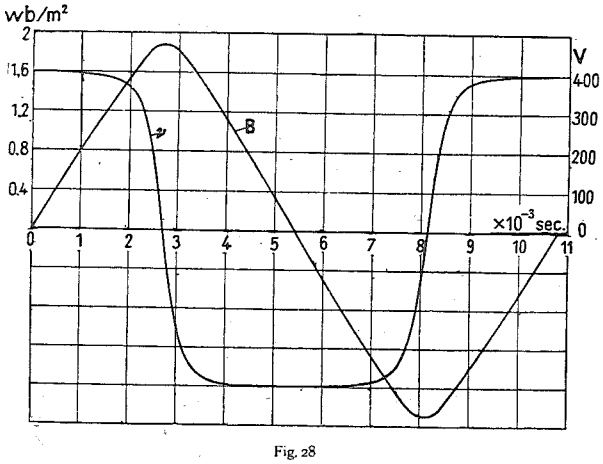

Fig. 28

Fig. 28. – Oscillazioni libere conservative dell'induzione B e della d.d.p. v al condensatore calcolate col metodo d'integrazione numerica per il circuito pseudo-armonico di cui alla fig. 14. Tensione iniziale al condensatore: 400 V.

Vogliamo ora determinare le oscillazioni della corrente tenendo conto dei cicli di perdita. A tale scopo, in analogia con quanto già fatto nel caso dell'esempio numerico svolto al N. 11, scriveremo:

$$i = \frac{0{,}1}{5000} H(B) + g \cdot 5000 \cdot 10^{-4} B'$$

Se supponiamo che alla frequenza di 93,5 p/s (corrispondente a a $T = 10{,}7 \cdot 10^{-3}$) e con l'induzione massima di 1,8 wb/m² si abbia una perdita nel ferro di 15 W/kg, la perdita effettiva sarà:

$$W_f = 15 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}1 \cdot 7800 = 1{,}17\ W$$

Ne segue:

$$g = \left(\frac{\frac{1{,}17}{588 \cdot 5000 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}9}}{\sqrt{2}}\right)^2 = 7{,}6 \cdot 10^{-6} \text{ mho}$$

L'equazione della corrente diviene allora:

$$i(t) = 2 \cdot 10^{-5} H(B) + 3{,}8 \cdot 10^{-6} B' \quad \text{Amp}$$

Naturalmente in questa formula si introdurranno per $H(B)$ e B' i valori dati, in funzione di t, rispettivamente dalle colonne terza e quarta della tabella II.

13. – CENNI SULL'IMPOSTAZIONE EREDITARIA DELLE OSCILLAZIONI PSEUDO-ARMONICHE.

Nell'analisi sin qui condotta, del circuito oscillante pseudo-armonico, abbiamo costantemente caratterizzato l'aspetto dissipativo dell'induttore a nucleo ferromagnetico mediante un'opportuna conduttanza derivata ai suoi estremi, oltre che mediante l'ordinaria resistenza dell'avvolgimento.

Per lo studio dei fenomeni in esame può peraltro essere anche adottata un'impostazione diversa utilizzando alcuni fondamentali concetti della cosiddetta *meccanica ereditaria* per cui esiste tutta una trattatistica instaurata e sviluppata prevalentemente dal Volterra (vedi Bibl.).

Tuttavia da questa suggestiva impostazione non si possono aspettare, almeno per ora, sensibili vantaggi nel campo pratico dato che i risultati sin qui conseguiti in tale indirizzo, seppure significanti nell'ambito concettuale e formale, raramente permettono di arrivare con sicurezza al numero. Ciò proviene essenzialmente dal fatto che la teoria ereditaria introduce una particolare funzione, il cosiddetto *nucleo ereditario*, la quale, quantunque rivesta un chiaro significato fisico, è oltremodo refrattaria a lasciarsi precisare in base ai dati dell'esperienza.

Passando comunque a dare un cenno sull'aspetto ereditario delle oscillazioni pseudo-armoniche, vogliamo anzitutto rilevare, come del resto è ovvio, che il punto di partenza di tutta la teoria poggia sulla assunzione che il comportamento di un sistema ereditario dipenda non solo dal suo stato attuale ma altresì dalla successione di tutti gli stati assunti nel passato. Si ritiene inoltre lecito ammettere, per l'eredità, un *carattere lineare* nel senso che l'effetto di una variabile caratteristica del sistema sul suo comportamento attuale sia proporzionale ai valori da detta variabile assunti nel passato.

I concetti fondamentali suesposti possono facilmente tradursi in forma matematica; nel caso dell'oscillatore pseudo-armonico assumendo come variabili legate al fenomeno della magnetizzazione la corrente i ed il concatenamento φ basta scrivere in luogo della solita relazione $i = i(\varphi)$ rappresentata dalla caratteristica di magnetizzazione, una espressione del tipo:

$$i(t) = i(\varphi) + \int_{-\infty}^{t} K(t, \tau)\, \varphi(\tau)\, d\tau \qquad (64)$$

in cui la funzione $K(t, \tau)$, detta *nucleo ereditario*, caratterizza il residuo di i, all'istante t, corrispondente al concatenamento $\varphi(\tau)$ durato l'unità di tempo nell'intorno dell'istante passato τ. La (64) esprime quindi, in forma generale, il fatto che la relazione tra concatenamento e corrente, all'istante considerato come attuale, non è quella corrispondente alla caratteristica $i(\varphi)$ ma ne differisce per un *prodotto integrale* funzione di tutti gli stati passati.

La (64) può essere posta sotto una forma più semplice ove si facciano le seguenti ipotesi conformi, almeno in prima approssimazione, ai risultati dell'esperienza:

1) che all'istante t sia trascurabile ogni ricordo del passato antecedente all'epoca $t - T$, essendo T la durata dell'*eredità*;

2) che il nucleo $K(t, \tau)$ sia funzione della sola differenza $(t - \tau)$.

In tali condizioni la (64) si riduce alla forma:

$$i(t) \cong i(\varphi) + \int_{t-T}^{t} K(t - \tau)\, \varphi(\tau)\, d\tau$$

vale a dire:

$$i(t) = i(\varphi) + \int_{0}^{T} K(\tau)\, \varphi(t - \tau)\, d\tau \qquad (65)$$

Per scrivere l'equazione ereditaria del circuito oscillante pseudo-armonico basta allora introdurre la precedente espressione $i(t)$ al posto di $i(\varphi)$ nell'equazione generale (3) semplificata col porre eguale a zero la conduttanza equivalente g, perchè della dissipazione nel ferro qui teniamo già conto in altro modo. Ammessa inoltre, per semplicità, trascurabile la resistenza dell'induttore si ottiene:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{1}{C}\, i(\varphi) + \frac{1}{C} \int_{0}^{T} K(\tau)\, \varphi(t - \tau)\, d\tau = e'(t) \qquad (66)$$

Si perviene così ad un tipo di equazione integro-differenziale nell'incognita $\varphi(t)$ il cui significato analitico, per chi non ha pratica di tali equazioni, può rendersi più chiaro in base alle considerazioni seguenti. Si supponga la funzione $\varphi(t - \tau)$ sviluppata in serie di Taylor nell'intorno di t; si ha:

$$\varphi(t - \tau) = \varphi(t) - \tau\, \varphi'(t) + \frac{\tau^2}{2!}\, \varphi''(t) - \dots$$

e questo sviluppo introdotto nella (66) fornisce l'equazione:

$$\frac{1}{C} \sum_r h_r \frac{d^r \varphi}{dt^r} + \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{1}{C}\, i(\varphi) = e'(t) \quad (r = 0; 1; 2 \dots)$$

con le h_r costanti definite mediante le quadrature:

$$h_r = \frac{(-1)^r}{r!} \int_{0}^{T} K(\tau)\, \tau^r\, d\tau$$

Appare quindi che la (66) è equivalente ad un'equazione differenziale di ordine tanto elevato quanto lo è il numero di termini dello sviluppo di Taylor meno uno; quindi, a rigore, di ordine infinito.

Risulta comunque manifesto che l'algoritmo specifico dei fenomeni a carattere ereditario, e quindi dei fenomeni d'isteresi, va ricercato nell'ambito delle equazioni integrali (e derivate), non in quello delle equazioni differenziali che governano i fenomeni oscillatori ordinari.

Quanto alla ricerca delle soluzioni dell'equazione ereditaria (66) rileveremo che è conseguibile in generale attraverso il metodo delle successive approssimazioni ovvero riconducendola ad un'*equazione integrale di Volterra*.

L'unico caso risolubile con criteri elementari è quello delle oscillazioni forzate a regime. Si tratta, comunque, più che altro di risoluzioni di interesse formale attesa la difficoltà, essenziale ai fini pratici, di esplicitare il nucleo $K(\tau)$ in base ai dati dell'esperienza e cioè, nello specifico caso nostro, in base agli effettivi cicli di magnetizzazione del materiale magnetico.

Volendo infatti determinare la forma del nucleo $K(\tau)$ è d'uopo ricorrere ancora ad una schematizzazione dell'induttore, ad esempio a quella da noi precedentemente seguita e che si compendia nella formula (1). In tal caso dal confronto della relazione suddetta con la (65) si trae:

$$g \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \int_{0}^{T} K(\tau)\, \varphi(t - \tau)\, d\tau$$

Allora riferendosi in particolare al caso delle oscillazioni forzate, osservato che la durata T della eredità può evidentemente ritenersi eguale al periodo delle oscillazioni, se si assume per φ il generico sviluppo:

$$\varphi = \sum_r \Phi_r \cos(r\omega t - \delta_r) \qquad \left(\omega = \frac{2\pi}{T}\right)$$

si ha:

$$-g\,\omega \sum_r r\,\Phi_r \sin(r\,\omega\,t - \delta_r) = \sum_r \Phi_r\,[A_r \sin(r\,\omega\,t - \delta_r) + A'_r \cos(r\,\omega\,t - \delta_r)]$$

introducendo le costanti ereditarie:

$$A_r = \int_0^{2\pi/\omega} K(\tau) \sin r\,\omega\,\tau\,d\tau \qquad A'_r = \int_0^{2\pi/\omega} K(\tau) \cos r\,\omega\,\tau\,d\tau$$

Ne segue:

$$A_r = -r\,\omega\,g \qquad A'_r = 0 \tag{67}$$

Inoltre poichè, come appare dalla formula che le definisce, le costanti ereditarie risultano non essere altro che i coefficienti dello sviluppo di Fourier di $K(\tau)$ divisi per ω/π, si ha con una composizione armonica:

$$K(\tau) = \frac{\omega}{\pi} \sum_r (A_r \sin r\,\omega\,\tau + A'_r \cos r\,\omega\,\tau)$$

e quindi per le (67):

$$K(\tau) = -\frac{\omega^2 g}{\pi} \sum_r r \sin r\,\omega\,\tau \tag{68}$$

Tanto per fare un esempio accenneremo al caso, già trattato ai numeri 10 e 11 mediante il metodo delle approssimazioni successive.

Continuando a servirci di questo classico procedimento anche nei riguardi dell'equazione ereditaria (66), scegliamo ancora come prima approssimazione della soluzione periodica $\varphi(t)$:

$$\varphi_{(1)} = \Phi_1 \cos(\omega\,t - \gamma)$$

e diamo a $K(\tau)$ l'espressione (68). Allora sostituendo nella (66) al posto di φ e di $K(\tau)$ i valori sopra specificati [12] si ricava la seconda approssimazione che, date le premesse, è naturalmente la stessa di quella ottenuta, in modo formalmente diverso, al N. 11 (a parte il fatto che qui abbiamo trascurata la resistenza del circuito.

Tralasciando pertanto ulteriori considerazioni in merito vogliamo concludere facendo vedere come nel caso in cui si possa supporre rettilinea, per il tratto interessato alle oscillazioni, la caratteristica di magnetizzazione, l'inquadramento ereditario, sintetizzato dalla (65), conduca a risultati elementari ben noti. Anzi, poichè questi risultati sono valevoli per qualsiasi circuito elettrico comprendente un induttore affetto da isteresi e da correnti parassite, anzichè riferirci ancora al circuito pseudo-armonico, rivolgeremo la nostra attenzione al solo induttore.

Detta allora L l'induttanza (costante) poniamo come relazione attuale tra $i(t)$ e φ, secondo la formula (65):

$$i(t) = \frac{\varphi}{L} + \int_0^{2\pi/\omega} K(\tau)\,\varphi(t-\tau)\,d\tau \tag{69}$$

Se ora la tensione applicata all'induttore ha l'espressione (49), onde è qui, trascurando ancora per semplicità la resistenza ohmica:

$$\varphi = -\frac{\mathcal{E}}{\omega} \cos \omega\,t$$

la sostituzione nella (69) con $K(\tau)$ sempre espresso dalla (68), porge:

$$i(t) = -\mathcal{J} \cos(\omega\,t + \beta)$$

con:

$$\mathcal{J} = \mathcal{E} \sqrt{g^2 + \frac{1}{\omega^2 L^2}}$$

Ma queste non sono altro che le ordinarie formule della corrente in un induttore a nucleo ferromagnetico notoriamente basate sull'ipotesi, qui appunto introdotta, di una caratteristica lineare. L'aspetto dissipativo, che automaticamente scaturisce dalla impostazione ereditaria, resta pertanto elementarmente delineato, in tale circostanza, attraverso un angolo di ritardo (costante) della magnetizzazione rispetto alla forza magnetomotrice che la provoca, essendo entrambe queste grandezze variabili con legge armonica. Ciò equivale, come è noto, a considerare cicli di magnetizzazione di forma ellittica.

***

L'autore esprime il proprio ringraziamento all'ing. Giuseppe Cavalazzi ed al dott. Giuseppe Tuninetti per l'aiuto cortesemente prestatogli nella esecuzione dei calcoli numerici.

Torino, gennaio 1946.

APPENDICE

SOLUZIONE DELL'EQUAZIONE DEL CIRCUITO PSEUDO-ARMONICO PER LE OSCILLAZIONI FORZATE.

Prendiamo direttamente in esame il caso dissipativo. Il caso non dissipativo si dedurrà dal precedente ponendo nelle formule:

$$R = g = 0$$

Supposto che la f.e.m. applicata sia del tipo:

$$e = \mathcal{E} \sin \omega\,t$$

dobbiamo ricercare le soluzioni periodiche dell'equazione (3) che, assumendo genericamente per $i(\varphi)$ una espressione generale del tipo (4) diviene:

$$(1 + R\,g)\frac{d^2\varphi}{dt^2} + R\left(\sum_{s=1}^{n} s\,a_s\,\varphi^{s-1} + \frac{g}{C}\right)\frac{d\varphi}{dt} + \frac{1}{C}\sum_{s=1}^{n} a_s\,\varphi^s = \omega\,\mathcal{E}\cos\omega\,t \tag{1/a}$$

Valendoci ancora del metodo delle approssimazioni successive, assumiamo come prima approssimazione $\varphi_{(1)}$ la soluzione del caso lineare:

$$\varphi_{(1)} = \Phi_1 \cos\vartheta \tag{2/a}$$

con:

$$\vartheta = \omega\,t - \gamma \tag{3/a}$$

in cui l'ampiezza Φ_1 del termine armonico fondamentale di φ e l'angolo di perdita γ sono due costanti da determinare in modo opportuno. Sostituiamo ora nella (1/a) φ con $\varphi_{(1)}$ e $d\varphi/dt$ con:

$$\frac{d\varphi_{(1)}}{dt} = -\omega\,\Phi_1 \sin\vartheta$$

Avremo per determinare la seconda approssimazione $\varphi_{(2)}$:

$$(1 + R\,g)\frac{d^2\varphi_{(2)}}{dt^2} - \omega\,R\left(\sum_{s=1}^{n} s\,a_s\,\Phi_1^{s-1}\cos^{s-1}\vartheta + \frac{g}{C}\right)\cdot$$

[12] In effetti, nel calcolo della seconda approssimazione basterebbe considerare, della (68), il solo addendo corrispondente ad $r = 1$ dato che gli altri, per l'ortogonalità delle funzioni circolari, non portano alcun contributo.

$$\Phi_1 \sin\vartheta + \frac{1}{C}\sum_{s=1}^{n} a_s \Phi_1^{\,s} \cos^s\vartheta = \omega\,\mathcal{E}\cos\omega t$$

ovvero scrivendo $(1-\sin^2\vartheta)$ in luogo di $\cos^2\vartheta$ e tenendo presente la (3/a)

$$(1+Rg)\frac{d^2\varphi_{(2)}}{dt^2} - \omega R\left[\sum_{s=1}^{n} s a_s \Phi_1^{\,s}(1-\sin^2\vartheta)^{(s-1)/2}\sin\vartheta + \right.$$

$$\left. + \frac{g}{C}\Phi_1\sin\vartheta\right] + \frac{1}{C}\sum_{s=1}^{n} a_s \Phi_1^{\,s}\cos^s\vartheta =$$

$$= \omega\,\mathcal{E}(\cos\vartheta\cos\gamma - \sin\vartheta\sin\gamma) \qquad (4/a)$$

Per ridurre la (4/a) ad una forma facilmente integrabile dobbiamo ora sviluppare le potenze delle funzioni circolari. Fissiamo anzitutto la nostra attenzione sulla sommatoria contenuta nel termine entro parentesi quadre a primo membro della (4/a). Lo sviluppo di tale sommatoria può ottenersi, evitando eccessive complicazioni, mediante il procedimento induttivo che passiamo a delineare.

Si applica anzitutto alla funzione di $\sin\vartheta$ la formula del binomio ottenendosi:

$$\sin\vartheta\,(1-\sin^2\vartheta)^{\frac{s-1}{2}} = \sin\vartheta - \binom{\frac{s-1}{2}}{1}\sin^3\vartheta +$$

$$+ \binom{\frac{s-1}{2}}{2}\sin^5\vartheta - \ldots + (-1)^{\frac{s-1}{2}}\sin^s\vartheta \qquad (5\,a)$$

D'altra parte, per m dispari vale notoriamente lo sviluppo:

$$\sin^m\vartheta = \left(\frac{1}{2\,j}\right)^{m-1}\left[\sin m\vartheta - \binom{m}{1}\sin(m-2)\vartheta + \right.$$

$$\left. + \binom{m}{2}\sin(m-4)\vartheta - \ldots + (-1)^{\frac{m-1}{2}}\binom{m}{\frac{m-1}{2}}\sin\vartheta\right] \qquad (6/a)$$

Abbinando queste due formule si vede che la (5/a) può esprimersi come somma di termini eguali al prodotto di una costante per una funzione del tipo $\sin r\vartheta$ con $r = 1; 3; 5 \ldots s$. Poniamo allora:

$$\sin\vartheta\,(1-\sin^2\vartheta)^{\frac{s-1}{2}} = \frac{1}{2^{s-1}}(b_{s1}\sin\vartheta + b_{s3}\sin 3\vartheta +$$

$$+ \ldots + b_{sr}\sin r\vartheta + \ldots + b_{ss}\sin s\vartheta) \qquad (7/a)$$

con b_{sr} coefficienti numerici funzioni di s e di r.

Se utilizzando la (5/a) e la (7/a) si esegue il calcolo dei detti coefficienti per $s = 1; 3; 5; \ldots 11$ ed r variabile in conformità si trovano i valori raccolti nella seguente tabella:

s \ r	1	3	5	7	9	11	—
1	1						
3	1	1					
5	2	3	1				
7	5	9	5	1			
9	14	28	20	7	1		
11	42	90	75	35	9	1	
—							

Si vede che i coefficienti allineati sulle diagonali, procedendo verso sinistra a partire dalla diagonale principale, soddisfano le formule:

$$1\;;\;\frac{r}{1}\;;\;\frac{r(s-1)}{1.2}\;;\;\frac{r(s-1).(s-2)}{1.2.3} \qquad (8/a)$$

D'altra parte ad ogni diagonale compete un valore costante della differenza $(s-r)$ che, nello stesso ordine di prima, è precisamente eguale a 0; 2; 4; 6 ... Si ha perciò per le varie diagonali:

$$\frac{s-r}{2} = 0;\ 1;\ 2;\ 3\ \ldots$$

Dal confronto di questi valori con le formule (8/a) si deduce facilmente, per un generico termine b_{sr} l'espressione:

$$b_{sr} = \frac{r}{s}\binom{s}{\frac{s-r}{2}}$$

La (7/a) si precisa quindi nel seguente modo:

$$\sin\vartheta\,(1-\sin^2\vartheta)^{\frac{s-1}{2}} = \frac{1}{s\cdot 2^{s-1}}\sum_{r=1}^{r} r\binom{s}{\frac{s-r}{2}}\sin r\vartheta$$

Introducendo allora le funzioni di Φ_1:

$$y_r(\Phi_1) = \sum_{s=r}^{n}\frac{a_s\Phi_1^{\,s}}{2^{s-1}}\binom{s}{\frac{s-r}{2}} \qquad (52\text{ ripetuta})$$

si può scrivere invertendo l'ordine delle sommatorie:

$$\sum_{s=1}^{n} s a_s \Phi_1^{\,s}\sin\vartheta\,(1-\sin^2\vartheta)^{\frac{s-1}{2}} = \sum_{r=1}^{n} r\,y_r(\Phi_1)\sin r\vartheta \qquad (9/a)$$

La prima sommatoria che compare nella (4/a) è quindi ricondotta ad una forma immediatamente integrabile.

Più semplice è la trasformazione dell'altra sommatoria, quella con il coseno. In questo caso basta tener presente lo sviluppo, valido per s dispari:

$$\cos^s\vartheta = \frac{1}{2^{s-1}}\left[\cos s\vartheta + \binom{s}{1}\cos(s-2)\vartheta + \right.$$

$$\left. + \binom{s}{2}\cos(s-4)\vartheta + \ldots + \binom{s}{\frac{s-1}{2}}\cos\vartheta\right]$$

che si può scrivere:

$$\cos^s\vartheta = \frac{1}{2^{s-1}}\sum_{r=1}^{s}\binom{s}{\frac{s-r}{2}}\cos r\vartheta$$

Allora sfruttando anche qui la posizione (52) ed invertendo l'ordine delle sommatorie si ha:

$$\sum_{s=1}^{n} a_s\Phi_1^{\,s}\cos^s\vartheta = \sum_{s=1}^{n} a_s\Phi_1^{\,s}\cdot\frac{1}{2^{s-1}}\sum_{r=1}^{s}\binom{s}{\frac{s-r}{2}}\cdot$$

$$\cos r\vartheta = \sum_{r=1}^{n} y_r(\Phi_1)\cos r\vartheta \qquad (10/a)$$

Tenendo ora conto della (9/a) e della (10/a) la (4/a) diviene:

$$(1+Rg)\frac{d^2\varphi_{(2)}}{dt^2} - \omega R\left[\sum_{r=1}^{n} r\,y_1(\Phi_1)\sin r\vartheta + \right.$$

$$+\frac{g}{C}\Phi_1 \sin\vartheta\Big] + \frac{1}{C}\sum_{r=1}^{n} y_r(\Phi_1)\cos r\vartheta =$$

$$= \omega\,\mathcal{E}\,(\cos\vartheta\cos\gamma - \sin\vartheta\sin\gamma)$$

e quest'ultima equazione può integrarsi immediatamente.

Ricordando la (3/a) e ponendo eguali a zero le costanti arbitrarie, ciò che occorre per assicurare la periodicità, risulta:

$$\varphi_{(2)} = \frac{1}{(1+Rg)\,\omega}\left\{\left[-R\,y_1(\Phi_1) - \frac{g}{C}\Phi_1 + \right.\right.$$

$$\left. + \mathcal{E}\sin\gamma\right]\sin\vartheta + \left[\frac{1}{\omega C}\,y_1(\Phi_1) - \mathcal{E}\cos\gamma\right]\cos\vartheta -$$

$$- R\sum_{r=3}^{n}\frac{1}{r}\,y_r(\Phi_1)\sin r\vartheta +$$

$$\left. + \frac{1}{\omega C}\sum_{r=3}^{n}\frac{1}{r^2}\,y_r(\Phi_1)\cos r\vartheta\right\} \qquad (11/a)$$

avendo separato i termini armonici fondamentali dagli altri.

Se poi si pone la condizione che il termine fondamentale sia lo stesso tanto nella prima quanto nella seconda approssimazione, abbia cioè la forma (2/a), dalla (11/a) seguono subito le equazioni:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{1}{(1+Rg)\,\omega}\left[\frac{1}{\omega C}\,y_1(\Phi_1) - \mathcal{E}\cos\gamma\right] = \Phi_1 \\ &-R\,y_1(\Phi_1) - \frac{g}{C}\Phi_1 + \mathcal{E}\sin\gamma = 0 \end{aligned}\right\}$$

le quali non sono altro che le (59) e determinano le due incognite Φ_1 e γ nel modo visto nel testo.

Per ridurre poi la (11/a) alla forma normale:

$$\varphi_{(2)} = \Phi_1\cos(\omega t - \gamma) + \sum_{r=3}^{n}\Phi_r\cos r(\omega t - \gamma + \psi_r) \qquad (58 \text{ ripetuta})$$

basta scrivere:

$$\Phi_r\cos r(\vartheta+\psi_r) = \Phi_r\cos r\vartheta\cos r\psi_r - \Phi_r\sin r\vartheta\sin r\psi_r$$

ed allora confrontando con la (11/a) si ricava:

$$\Phi_r\sin r\psi_r = \frac{1}{(1+Rg)\,\omega}\cdot\frac{R}{r}\,y_r(\Phi_1)$$

$$\Phi_r\cos r\psi_r = \frac{1}{(1+Rg)\,\omega}\cdot\frac{1}{r^2\,\omega C}\,y_r(\Phi_1)$$

$$\Phi_r = \frac{1}{(1+Rg)\,r\,\omega}\,y_r(\Phi_1)\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{r\,\omega C}\right)^2} \qquad (61 \text{ ripetuta})$$

$$\psi_r = \frac{1}{r}\operatorname{arctg} r\,\omega\,C\,R \qquad (62 \text{ ripetuta})$$

Sarebbe praticamente impossibile passare alla ricerca di una terza approssimazione, attesa la complicazione dei calcoli che ne risulterebbe. Come peraltro si è osservato nel testo, si può ritenere che l'effettivo comportamento del circuito sia già sufficientemente ben delineato dalla seconda approssimazione di cui abbiamo dedotta più sopra la forma esplicita. Si può infatti osservare che una terza approssimazione conserverebbe la forma (58); si avrebbe soltanto una piccola differenza delle ampiezze Φ_r e degli angoli ψ_r ($r \geqslant 3$) rispetto ai valori calcolabili con la seconda approssimazione.

BIBLIOGRAFIA

[1] K. WEIERSTRASS: « Ueber eine Gattung reell periodischer Funktionen ». Opere, vol. II.

[2] J. HORN: « Zur Theorie der kleinen endlichen Schwingungen von Systemen mit einen Freiheitsgrad ». *Zeitsch. f. Math. u Phys.*, 47; 1902-48; 1903-49; 1903-53; 1905.

[3] J. BETHENOD: « Sur le transformateur a résonance ». *L. Eclairage Électrique*, 30 nov. 1907.

[4] O. MARTIENSEN: « Ueber neue Resonanzerscheinungen in Wechselstromkreisen ». *Phys. Zeitschr.*, 11; 1910.

[5] J. BIERMANNS: « Der Schwingunskreis mit eisenhaltiger Induktivität ». *Archiv f. Elektr.*, 3; 1915.

[6] P. BOUCHEROT: « Résonance électrique dans un circuit dont la self-induction contient du fer ». *Comptes rend. Acad. des Sciences*, 22 marzo 1920.

[7] P. BOUCHEROT: « Surtensions par cables armés ». *R.G.E.* 22 maggio 1920.

[8] P. BOUCHEROT: Existance de deux régimes en ferro-résonance » *R.G.E.*, 11 dicembre 1920.

[9] F. MARGAND: « Au sujet de l'existance de deux régimes en ferro-résonance ». *R.G.E.*, 7 maggio 1921.

[10] H. SCHUNCH-J. ZENNECK: « Ueber Schwingungskreise mit Eisenkernspulen ». *Jahrb. Tel. u. Tel.*, Vol. 19-1922.

[11] P. KALANTAROFF: « Les caractéristiques des circuits contenant une bobine d'inductance à noyau de fer et des condensateurs ». *R.G.E.*, 2 marzo 1929.

[12] E. ROUELLE: « Les caractéristiques et la stabilité des circuits ferro-résonnants ». *R. G. E.*, 31 agosto 1929.

[13] E. ROUELLE: « Contribution à l'étude expérimentale de la ferro-résonance ». *R.G.E.*, 24 novembre; 1 ed 8 dicembre 1934

[14] C. G. SUIT: « Studies in non linear circuits ». *A.I.E.E. Trans.*. giugno 1931.

[15] A. BOYAJIAN: « Mathematical analysis of non linear circuits » *G.E.R.*, 1931, pp. 531 e 745.

[16] P. H. ODESSEY-E. WEBER: « Critical conditions in ferro-résonance ». *A.I.E.E. Trans.*, 1938, vol. 57.

[17] I. A. TRAVIS-C. N. WEYGANDT: « Subharmonics in circuits containing iron ». *A.I.E.E. Trans.*, 1938, vol. 57.

[18] W. T. THOMSON: « Similitude of critical concitions in ferro resonant circuits ». *El. Engin.*, marzo 1939.

[19] G. KRALL: « Meccanica tecnica delle vibrazioni », vol. 1, cap. III, editore Zanichelli, 1940.

[20] F. TAEGER: « Die Entdämpfung von Schwingungskreisen durch Eisendrosseln ». *Archiv. f. Elektrot.*, aprile 1941.

[21] W. KOCH: « Kippschwingungen in Starkstromanlagen ». *E.T.Z.*, 12 agosto 1943.

[22] V. VOLTERRA: « Vibrazioni elastiche nel caso della eredità ». *Rend. Acc. Lincei*, vol. XXI, Serie V, 1912.

[23] V. VOLTERRA: « Saggi Scientifici », ed. Zanichelli, 1924.

[24] V. VOLTERRA: « Sur la théorie mathématique des phénomènes héréditaires ». *Journ. Math. Pur. Appl.*, VII; 1928.

[25] G. GIORGI « Sui problemi della elasticità ereditaria ». *Rend Acc. Lincei*, vol. XXI, serie V; 1912.

DATI DI DISTRIBUZIONE
DELL'ENERGIA ELETTRICA IN ITALIA

È appena uscita la **ristampa** dell'edizione **1937.**

Contiene, per ciascun Comune, i seguenti dati:

Società distributrice
Frequenza della corrente
Tensione di distribuzione, per illuminazione
Tensione di distribuzione, per usi elettrodomestici
Tensione della rete tranviaria

Il volume è in vendita al prezzo di **L. 250,-** per i Soci dell'A.E.I. e **L. 300,-** per i non Soci, presso:

L'Ufficio Centrale dell'A.E.I. - Via S. Paolo, 10 - MILANO

RUBRICA "JUNIORES"

STUDIO SULLA METADINAMO IN CROCE

GIULIO BATTISTINI

Viene eseguito uno studio essenzialmente di carattere fisico dei fenomeni elettrici e magnetici che hanno luogo nel funzionamento della metadinamo in croce. Viene esaminato il caso generale della metadinamo in croce collegata a una rete a tensione costante e a una rete a corrente costante, e il caso particolare della generatrice a corrente costante che alimenta un carico inerte.

1. – PREMESSA.

I numerosi modi di funzionamento, ai quali può dar luogo la metadinamo, inducono necessariamente lo studioso a rappresentarsi le proprietà e le caratteristiche di questa macchina sotto una forma la più sintetica possibile (cioè sotto forma analitica) in modo da avere una visione contemporanea del grande numero di possibilità d'impiego che la metadinamo offre, per lo meno in teoria, allorchè si facciano variare i numerosi parametri dai quali dipende il funzionamento della macchina.

Come è noto, si possono avere infatti metadinamo con tre, quattro, ... spazzole per ciclo; con varia disposizione di spazzole lungo il collettore; con vari tipi di collegamenti tra le spazzole ed i circuiti esterni; con varia disposizione di circuiti ausiliari nello statore e così via.

Molti dei casi particolari di funzionamento cui può dar luogo la metadinamo sono stati studiati ed hanno già avuto numerose e interessanti applicazioni nella pratica, ma forse tante altre possibilità di questa macchina non sono ancora state messe chiaramente in evidenza a causa della sua età relativamente giovane e conseguentemente per il numero di studi su di essa eseguiti certamente assai piccolo in confronto delle sue possibilità teoriche e della sua sempre crescente importanza pratica.

La «metadinamo in croce», che è uno dei tipi che hanno ricevuto sinora più estesa applicazione pratica, costituirà l'oggetto particolare del presente studio. Si rinuncerà perciò a prendere in esame la grande generalità d'impiego che, come si è detto, è una delle caratteristiche fondamentali della metadinamo, ma si avrà così la possibilità di penetrare più addentro nel concatenamento dei fenomeni elettrici e magnetici, che hanno luogo nella macchina, e di illustrare appieno il suo funzionamento dal punto di vista fisico.

2. – PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO.

Si consideri l'indotto di una normale macchina a corrente continua ed il relativo collettore a lamelle, sul quale siano appoggiate 4 spazzole a 90° l'una dall'altra; e si supponga che lo statore di tale macchina sia costituito dalla semplice carcassa di ferro *senza alcun avvolgimento*, in modo che il suo unico ufficio sia quello di chiudere il circuito magnetico degli eventuali flussi generati dall'avvolgimento rotorico (fig. 1).

Chiameremo, per distinguerle, *spazzole primarie* le spazzole a e c collocate in corrispondenza dell'asse y e *spazzole secondarie* le spazzole b e d collocate in corrispondenza dell'asse x.

Si faccia ruotare adesso la macchina con velocità costante di n giri al secondo nel senso indicato dalla freccia, e si colleghino le due spazzole primarie ai morsetti di una batteria di tensione opportuna V_a (fig. 2).

Il circuito primario, nel quale è inserita la batteria, è percorso da una corrente I_a, la quale alle spazzole si suddivide in due parti e percorre i due rami interni dell'avvolgimento che vanno dalla spazzola c alla spazzola a. In conseguenza di tale corrente, che percorre l'avvolgimento, si genera nella macchina un flusso φ_a diretto mediamente secondo l'asse y e che, nel caso della figura, ha il senso positivo indicato dalla freccia.

Il flusso φ_a, avendo la direzione dell'asse y, mentre non induce alcuna f.e.m. tra le spazzole a e c, induce invece una f.e.m. E_b tra le spazzole b e d, la quale nel caso della figura, ha senso positivo come è indicato dai segni + e —, posti in corrispondenza delle spazzole secondarie.

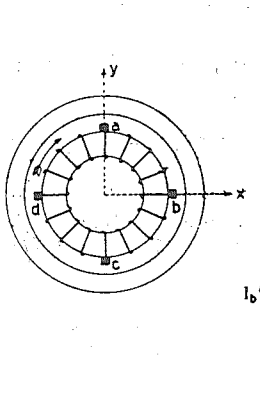

Fig. 1.

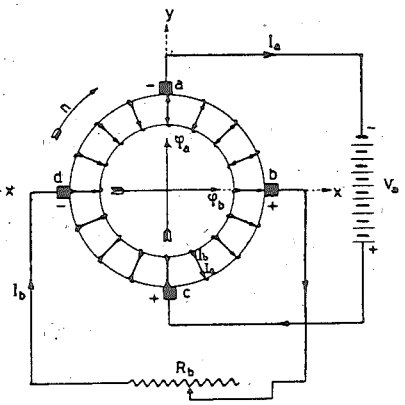

Fig. 2.

Fig. 1. – Schema fondamentale di metadinamo in croce ad un sol ciclo senza avvolgimenti statorici.

Fig. 2. – Distribuzione delle correnti nel rotore di una metadinamo in croce collegato mediante le spazzole primarie a una batteria e mediante le spazzole secondarie a una resistenza esterna. (Le frecce segnate sui conduttori in corrispondenza della circonferenza esterna indicano il senso della corrente primaria I_a, quelle in corrispondenza della circonferenza interna indicano il senso della corrente secondaria I_b).

Si colleghino ora le due spazzole secondarie ad un circuito esterno di resistenza R_b; per opera della f.e.m. E_b, nel circuito secondario viene allora a stabilirsi una corrente I_b, la quale, percorrendo l'avvolgimento della macchina, dà luogo ad un flusso φ_b diretto secondo l'asse x (nel caso della figura φ_b ha senso positivo).

Il flusso φ_b, per la sua direzione, induce tra le spazzole a e c una f.e.m. E_a, la quale, come si può facilmente riscontrare, è in opposizione, nel circuito primario, alla V_a, e quindi tende a limitare l'intensità della corrente I_a, prodotta appunto dalla V_a.

Indicando perciò con r_a la resistenza dell'avvolgimento:

$$I_a = \frac{V_a - E_a}{r_a} \qquad [1]$$

poichè r_a è molto piccola, si verificherà allora:

$$E_a \cong V_a \qquad [2]$$

Non appena E_a per una causa qualsiasi tende a diminuire anche di poco al di sotto di V_a, I_a tende ad aumentare in misura molto grande, e di conseguenza tendono

ad aumentare in misura altrettanto grande φ_a, E_b, I_b, φ_b e quindi E_a viene automaticamente riportata ad un valore molto prossimo a V_a. Esattamente l'opposto avviene per un aumento di E_a, con l'identico risultato finale.

Se dunque V_a si mantiene costante, anche E_a viene mantenuto automaticamente dalla macchina pressochè costante; perciò, se la velocità non varia, si avrà sempre automaticamente φ_b = costante, e quindi:

$$I_b = \text{cost.}$$

qualunque sia la resistenza esterna R_b del circuito secondario.

Infatti se, per esempio, si aumenta R_b, I_b tenderebbe a diminuire e altrettanto farebbero perciò φ_b ed E_a; ma allora si verifica subito un aumento di I_a in misura tale da far aumentare φ_a e E_b in modo da riportare I_b, φ_b E_a ed al valore primitivo.

Si può perciò concludere che: *se la tensione primaria e la velocità della macchina vengono mantenuti costanti, qualunque sia la resistenza di carico secondaria, la corrente secondaria rimane sempre costante.*

L'energia che la macchina riversa nel circuito secondario in questo caso viene assorbita dalla rete primaria ed il motore primo, se si trascurano le perdite, non compie alcun lavoro, perchè, non essendovi nella macchina alcun flusso statorico, non può verificarsi alcuna coppia motrice o frenante; perciò in questo caso *la macchina funziona da trasformatrice di energia elettrica (in corrente continua) a tensione costante in energia elettrica (in corrente continua) a corrente costante.*

Mediante un ragionamento perfettamente duale si può vedere che, alimentando le spazzole secondarie con una rete a corrente costante e collegando invece un carico con le spazzole primarie, qualunque sia la sua resistenza, la tensione ad esso applicata si mantiene sempre costante ed in questo caso *la macchina funziona quindi da trasformatrice in senso inverso al precedente.*

In conseguenza di ciò le spazzole primarie *a* e *c* le chiameremo anche *spazzole a tensione costante* e le spazzole secondarie *b* e *d* le chiameremo anche *spazzole a corrente costante.*

La macchina che abbiamo descritto rappresenta, nel suo schema fondamentale più semplice *la metadinamo in croce ad un sol ciclo* (1).

3. – Avvolgimenti ausiliari statorici.

Se si prende in esame la raffigurazione schematica della figura 2 e quanto si è detto a proposito di essa, si notano subito due fatti di notevole importanza: *a*) una macchina cosiffatta deve funzionare necessariamente da trasformatrice perchè è impossibile qualunque scambio di energia fra essa ed il motore primo; *b*) lasciando immutata la tensione o la corrente di alimentazione e la velocità, non è possibile variare il valore costante di corrente, o rispettivamente di tensione, del carico.

Per rendere possibile lo scambio di potenza tra la macchina e il motore e l'adattamento della corrente o della tensione di carico a valori diversi, basta collocare sullo statore alcuni avvolgimenti disposti opportunamente ed alimentati con corrente regolabile a seconda dei casi. Tali avvolgimenti non corrispondono concettualmente agli avvolgimenti di eccitazione delle dinamo, perchè, come si è visto, l'eccitazione di una metadinamo viene fornita dal rotore, ma hanno l'ufficio di variatori e regolatori.

Si supponga quindi di collocare sullo statore due avvolgimenti (fig. 3) che generino un flusso diretto rispettivamente secondo l'asse x e secondo l'asse y; chiameremo *avvolgimento variatore primario* quello il cui flusso è diretto secondo l'asse delle spazzole primarie (asse y) e *avvolgimento variatore secondario* quello il cui flusso è diretto secondo l'asse delle spazzole secondarie (asse x); si indicheranno inoltre con i_1 e i_2 le rispettive correnti, che supporremo variabili a piacere in grandezza e segno, con la convenzione che debbono intendersi positive quando generano flussi (che indicheremo rispettivamente con φ_1 e φ_2) di senso positivo, negative nel caso contrario.

Agli effetti della produzione delle f.e.m. alle spazzole, si avrà quindi che la f.e.m. primaria E_a sarà generata adesso per l'azione di un flusso che è la somma algebrica dei flussi φ_b e φ_2; la f.e.m. E_b per l'azione di un flusso che è la somma algebrica dei flussi φ_a e φ_1:

$$\begin{cases} E_a = f_1(\varphi_b + \varphi_2) \\ E_b = f_2(\varphi_a + \varphi_1) \end{cases}$$

Se si suppone di alimentare le spazzole a tensione costante e di chiudere sopra una resistenza le spazzole a corrente costante si vede allora immediatamente che, dovendo rimanere E_a sempre costante (per quanto si è detto in precedenza), quando φ_2 varia, anche φ_b varia in senso inverso; quindi facendo assumere a i_2 valori diversi, I_b assume in ogni caso quel valore tale da produrre un flusso φ_b che, sommato algebricamente con φ_2, dia luogo ad una f.e.m. indotta primaria sempre uguale ad E_a. Perciò regolando i_2 si può regolare a piacere il valore della corrente costante secondaria I_b del carico.

Allorchè la resistenza di carico R_b è fissa, anche E_b risulta costante, perciò dovrà anche essere costante il flusso $(\varphi_a + \varphi_1)$ che la produce. Se allora si varia φ_1 (agendo sopra la i_1), φ_a dovrà variare in senso inverso; cioè sarà costretta a variare la corrente primaria di alimentazione I_a (2).

Se manteniamo costante i_2 e R_b, la potenza assorbita dal carico del secondario $P_b = R_b I_b^2$, per la costanza di I_b, risulta sempre la stessa comunque vari i_1; mentre la potenza ceduta dall'alimentazione primaria $P_a = V_a I_a$ varia al variare di i_1, perchè, come si è visto, una variazione di i_1 porta una variazione nel valore di I_a. È evidente allora che con l'introduzione degli avvolgimenti variatori sullo statore della macchina è entrata in giuoco un'altra sorgente di energia, che, come s'intuisce subito, è il motore primo; infatti la reazione dei flussi rotorici, con i flussi statorici, che adesso sono presenti, può dar luogo ad una coppia motrice o frenante e conseguentemente ad uno scambio di potenza meccanica tra il motore primo e la metadinamo in un senso o nell'altro.

Si può quindi dire che: *Allorchè vengono alimentate le spazzole a tensione costante e viene posto sulle spazzole a corrente costante un carico formato da una resistenza;*

(1) Il concetto di ciclo che sostituisce per le metadinamo il concetto di «paia di poli» delle dinamo normali, corrisponde a quel complesso di elementi di carattere costruttivo magnetico e elettrico che si ripete in modo identico un certo numero di volte lungo un intero giro del traferro della macchina. Nelle dinamo il ciclo è costituito da due poli dell'eccitazione statorica, nelle metadinamo invece, dove i poli statorici, come si è visto, possono anche non esistere, oppure essere, come si vedrà, in un numero qualunque, il ciclo deve necessariamente essere definito nella maniera più generale che sopra è stata enunciata.

Perciò, per quanto è stato detto, la metadinamo in croce è una metadinamo che ha quattro spazzole per ogni ciclo, disposte a 90° elettrici l'una dall'altra e collegate le *a*, *c* ad un circuito e le *b*, *d* ad un altro.

La metadinamo in croce, come subito si vede, non è che un caso particolare di metadinamo; in generale, secondo la definizione dello stesso inventore, la metadinamo è una macchina a corrente continua a collettore con più di due spazzole per ogni ciclo.

(2) Infatti se si suppone ad esempio che la i_1 sia negativa e che venga ad un certo istante diminuito il suo valore assoluto, allora l'azione complessiva del flusso $(\varphi_a + \varphi_1)$ tende ad aumentare e perciò tende ad aumentare E_b; di conseguenza tendono ad aumentare anche I_b, φ_b e quindi E_a e si verifica perciò una diminuzione di I_a in misura tale da riportare il flusso $(\varphi_a + \varphi_1)$, e perciò tutte le altre grandezze, al valore primitivo, ed in definitiva la variazione di i_1 ha avuto come unico effetto di provocare una variazione di I_a.

mediante la corrente i_2 dell'avvolgimento variatore secondario si può far variare a piacere la corrente costante I_b del carico secondario; mentre mediante la corrente i_1 dell'avvolgimento variatore primario si può far variare a piacere la ripartizione del flusso delle potenze tra la macchina, la sorgente di alimentazione a tensione costante e il motore che trascina la macchina.

Con un procedimento perfettamente duale del precedente si può far vedere che, in modo del tutto analogo, allorchè vengono alimentate invece le spazzole a corrente costante e viene posto sulle spazzole a tensione costante un carico formato da una resistenza; mediante la corrente i_2 si può far variare a piacere la tensione costante E_a del carico primario; mentre mediante la corrente i_1 si può far variare a piacere la ripartizione del flusso delle potenze tra la macchina, la sorgente di alimentazione a corrente costante ed il motore che trascina la macchina.

Come si vede i due avvolgimenti statorici conservano in ambedue i casi uno stesso ufficio differente l'uno dell'altro; per questo il nome di « variatore » si usa darlo a quello che noi abbiamo chiamato avvolgimento variatore secondario, mentre l'altro viene chiamato di solito avvolgimento « regolatore » quando la metadinamo funziona da trasformatrice e « amplificatore » quando funziona invece da generatrice.

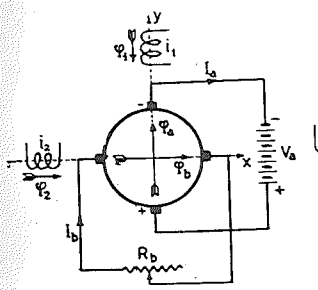

Fig. 3.

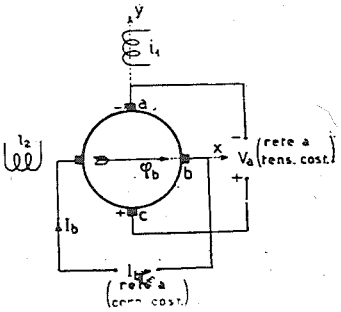

Fig. 4.

Fig. 3. – Schema fondamentale di metadinamo in croce ad un sol ciclo con avvolgimenti statorici, collegata mediante le spazzole primarie a una batteria e mediante le spazzole secondarie a una resistenza esterna.

Fig. 4. – Collegamento di una metadinamo in croce con una rete a tensione costante e con una rete a corrente costante.

4. – METADINAMO COLLEGATA CON UNA RETE A TENSIONE COSTANTE E CON UNA RETE A CORRENTE COSTANTE.

Adesso che è stato chiarito lo schema fondamentale di funzionamento della metadinamo in croce, esaminiamo un po' più profondamente le sue caratteristiche.

Prenderemo in esame per questo il caso più generale che si possa presentare e cioè *una metadinamo in croce di cui le spazzole primarie siano collegate ad una rete a tensione costante e le spazzole secondarie siano inserite in una rete a corrente costante*; il caso si presenta ricchissimo di possibilità diverse di funzionamento perchè la macchina funziona da elemento distributore fra le tre sorgenti di energia: motore primo, rete a tens. cost., rete a corr. cost. ed è possibile, come vedremo, attuare tutti i possibili casi teorici di distribuzione dei tre flussi di potenza, regolando in modo opportuno le correnti dei due avvolgimenti variatori primario e secondario.

Ricordiamo che adesso la tensione alle spazzole primarie è sempre costante ed è uguale a quella della rete V_a, ed analogamente la corrente che entra nelle spazzole secondarie è costante ed è uguale a quella della rete a corrente costante I_b, perciò anche il flusso φ_b è costante. Gli elementi che vengono invece variati a nostro piacere sono le correnti i_1 ed i_2 degli avvolgimenti variatori.

Le f.e.m. generate alle spazzole primarie e secondarie, per quanto si è visto, sono rispettivamente:

$$[3] \qquad \begin{cases} E_a = n\,k_2\,i_2 + n\,k_b\,I_b \\ E_b = n\,k_1\,i_1 + n\,k_a\,I_a \end{cases}$$

dove n indica la velocità della macchina k_1, k_2, k_a e k_b rappresentano opportuni coefficienti di proporzionalità tra le correnti induttrici e le f.e.m. indotte; i segni delle correnti s'intendono positivi quando danno luogo a flussi diretti in senso positivo.

Supporremo che la macchina sia perfettamente simmetrica e che perciò:

$$k_a = k_b = k$$

ed allora le equazioni [3] divengono:

$$[4] \qquad \begin{cases} E_a = n\,k_2\,i_2 + n\,k\,I_b \\ E_b = n\,k_1\,i_1 + n\,k\,I_a \end{cases}$$

Poichè I_b = cost., la f.e.m. E_a è funzione della sola corrente i_2. *Chiamiamo con i_{20} quel valore (costante finchè non variano I_b e V_a) di i_2 per cui E_a risulta uguale a V_a*:

$$[5] \qquad n\,k_2\,i_{20} + n\,k\,I_b = V_a$$

In generale i_{20} sarà diversa da zero perchè, essendosi scelti I_b e V_a totalmente a caso è ragionevole supporre che la f.e.m. generata alle spazzole primarie dal flusso φ_b, prodotto da I_b, sia in generale diversa da V_a, $(n\,k\,I_b \neq V_a)$.

Flusso di potenza tra la macchina e la rete a tensione costante. — Lo scambio di potenza tra la macchina e la rete a tensione costante è determinato evidentemente in grandezza e direzione dal valore e dal segno di I_a: quando I_a è positivo (cioè, secondo le convenzioni della nostra figura, percorre la macchina dal basso all'alto) è la rete a tens. cost. che invia nella macchina una potenza proporzionale a I_a; quando I_a è negativo è la macchina che invia potenza nella rete; quando $I_a = 0$ non vi è scambio di potenza tra la macchina e la rete.

D'altra parte il segno e il valore di I_a sono regolati dalla corrente i_2. Infatti: se $i_2 > i_{20}$ anche E_a è maggiore di V_a e perciò I_a è negativo; se $i_2 < i_{20}$ anche $E_a < V_a$ e quindi $I_a > 0$; se infine $i_2 = i_{20}$ anche $E_a = V_a$ e $I_a = 0$.

Allora facendo la convenzione che siano positive le potenze entranti nella macchina e negative le potenze uscenti, e indicando con P_a la potenza fornita alla macchina dalla rete a tensione costante, per la prima delle [4], si ha:

$$[6] \qquad V_a = E_a + r_a\,I_a = n\,k_2\,i_2 + n\,k\,I_b + r_a\,I_a$$

e per la [5]:

$$n\,k_2\,i_{20} + n\,k\,I_b = n\,k_2\,i_2 + n\,k\,I_b + r_a\,I_a$$

$$[7] \qquad I_a = -\frac{n\,k_2}{r_a}(i_2 - i_{20}) \,.$$

allora:

$$[8] \qquad P_a = V_a\,I_a = -V_a\frac{n\,k_2}{r_a}(i_2 - i_{20})$$

e quindi si può concludere che quando $i_2 < i_{20}$, $P_a > 0$; quando $i_2 > i_{20}$, $P_a < 0$; e quando $i_2 = i_{20}$, $P_a = 0$.

Se ci riferiamo perciò a due assi coordinati (fig. 5) sui

quali si riportano le correnti i_1 e i_2 e si traccia una retta di equazione $i_2 = i_{20}$ (che chiameremo *retta della rete a tensione costante*) si può affermare che: 1) per tutti i punti a destra di questa retta $P_a < 0$, cioè la macchina fornisce potenza alla rete; 2) per tutti i punti a sinistra $P_a > 0$, cioè la rete fornisce potenza alla macchina; 3) per tutti i punti sulla «retta della rete a tensione costante» $P_a = 0$, cioè non vi è scambio di potenza tra la macchina e la rete a tensione costante.

La retta della rete a tensione costante si mantiene sempre parallela all'asse delle y ad una distanza i_{20} che dipende unicamente dal valore di V_a e I_b.

Flusso di potenza tra la macchina e la rete a corrente costante. — Lo scambio di potenza tra la macchina e la rete a corrente costante è determinato evidentemente in grandezza e direzione dal valore e dal segno di V_b: quando V_b è positiva (cioè, secondo le convenzioni della nostra figura, è diretta nella macchina da sinistra verso destra) è la macchina che invia nella rete a corrente costante una potenza proporzionale a V_b; quando V_b è negativa è la rete che invia potenza nella macchina; quando $V_b = 0$ non vi è scambio di potenza tra la macchina e la rete a corrente costante.

Ma $V_b = E_b - r_b I_b$; trascurando la caduta $r_b I_b$ e sostituendo a E_b il suo valore dato dalla seconda delle [4]:

$$[9] \qquad V_b = n k_1 i_1 + n k I_a$$

e per la [7]:

$$[10] \qquad V_b = n k_1 i_1 - \frac{n^2 k k_2}{r_a} (i_2 - i_{20})$$

e perciò la «*retta della rete a corrente costante*» (cioè quella retta che divide il piano $[i_1, i_2]$ nelle due parti, nelle quali lo scambio di potenza tra la macchina e la rete a corrente costante è di segno opposto, e lungo la quale tale scambio di potenza è nullo) avrà per equazione:

$$[11] \qquad n k_1 i_1 = \frac{n^2 k k_2}{r_a} (i_2 - i_{20})$$

Tale retta taglia l'asse x nel punto $i_2 = i_{20}$ ed ha una inclinazione fissa rispetto a quest'asse data da:

$$\frac{i_1}{i_2 - i_{20}} = \frac{n k k_2}{k_1 r_a}$$

Mentre il punto di incontro di questa con l'asse x (fig. 6) varia al variare di I_b e V_a, la sua inclinazione invece non varia, ma rimane sempre costante, perchè nella sua espressione compaiono solamente quantità che dipendono dai parametri costruttivi della macchina.

La potenza P_b, che la rete a corrente costante invia nella macchina, per la [10], è data da:

$$[12] \qquad P_b = - V_b I_b = $$

$$= - I_b \left\{ n k_1 i_1 - \frac{n^2 k k_2}{r_a} (i_2 - i_{20}) \right\}$$

perciò tale potenza, se $I_b > 0$, è negativa quando

$$n k_1 i_1 > \frac{n^2 k k_2}{r_a} (i_2 - i_{20}),$$

cioè per tutti i punti del piano (i_1, i_2) al di sopra della «retta della rete a corrente costante», è positiva per tutti i punti al di sotto ed è nulla per tutti i punti di tale retta; se invece $I_b < 0$ la retta della rete a corrente costante rimane immutata ma le due regioni nelle quali essa divide il piano (i_1, i_2) invertono le parti.

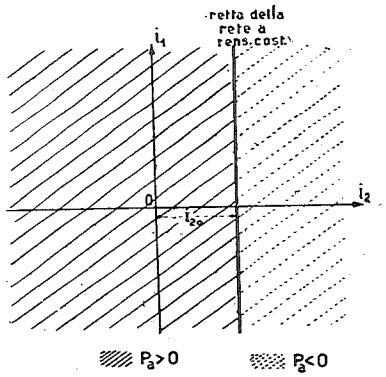

Fig. 5

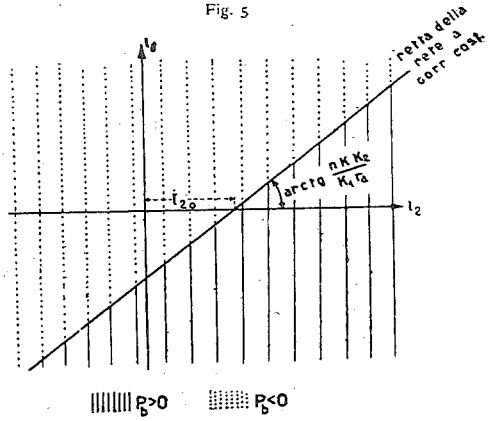

Fig. 6

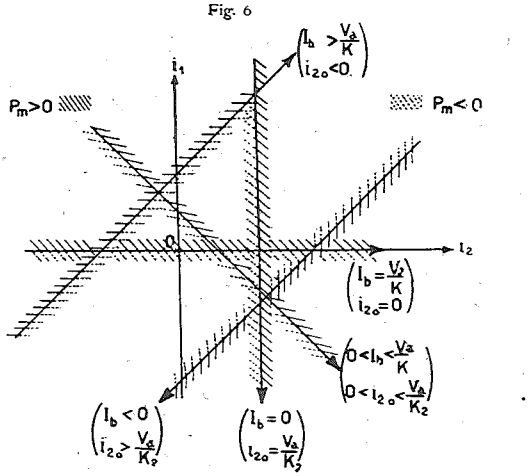

Fig. 7

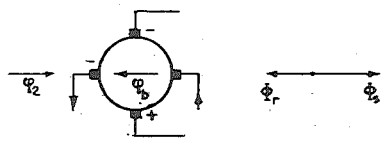

Fig. 8

Fig. 5. – Divisione del piano (i_1, i_2) in zone, in relazione al senso del flusso di potenza tra la macchina e la rete a tensione costante, per una metadinamo in croce collegata con una rete a tensione costante e con una rete a corrente costante.

Fig. 6. – Divisione del piano (i_1, i_2) in zone, in relazione al senso del flusso di potenza tra la macchina e la rete a corrente costante, per una metadinamo in croce collegata con una rete a tensione costante e con una rete a corrente costante.

Fig. 7. – Divisione del piano (i_1, i_2) in zone, in relazione al senso del flusso di potenza tra la macchina e il motore primo, per una metadinamo in croce collegata con una rete a tensione costante e con una rete a corrente costante.

Fig. 8. – Flussi magnetici esistenti nella macchina e posizione relativa tra flusso risultante statorico Φ_s e flusso risultante rotorico Φ_r, nel funzionamento a vuoto della macchina ($i_1 = 0$, $i_2 = i_{20}$) per una metadinamo in croce collegata con una rete a tensione costante e con una rete a corrente costante.

Flusso di potenza tra la macchina e il motore primo. — Lo scambio di potenza tra la macchina e il motore che la trascina è indicato evidentemente (trascurando le perdite) dalla somma algebrica cambiata di segno delle potenze P_a e P_b.

$$[13] \quad P_m = -(P_a + P_b) = V_a \frac{n k_2}{r_a}(i_2 - i_{20}) + \left. + I_b \right\{ n k_1 i_1 - \frac{n^2 k k_2}{r_a}(i_2 - i_{20}) \left. \right\}$$

$$\frac{i_1}{i_2 - i_{20}} = -\frac{n k_2^2 i_{20}}{k_1 r_a I_b}$$

Tanto il punto d'incontro di questa retta con l'asse delle x, quanto la sua inclinazione, variano al variare di I_b e V_a. Il punto d'incontro con l'asse x coincide sempre col punto d'incontro delle rette della rete a tensione costante e della rete a corrente costante. L'inclinazione invece varia in modo diverso e può assumere valori positivi o negativi come può osservarsi nella fig. 7

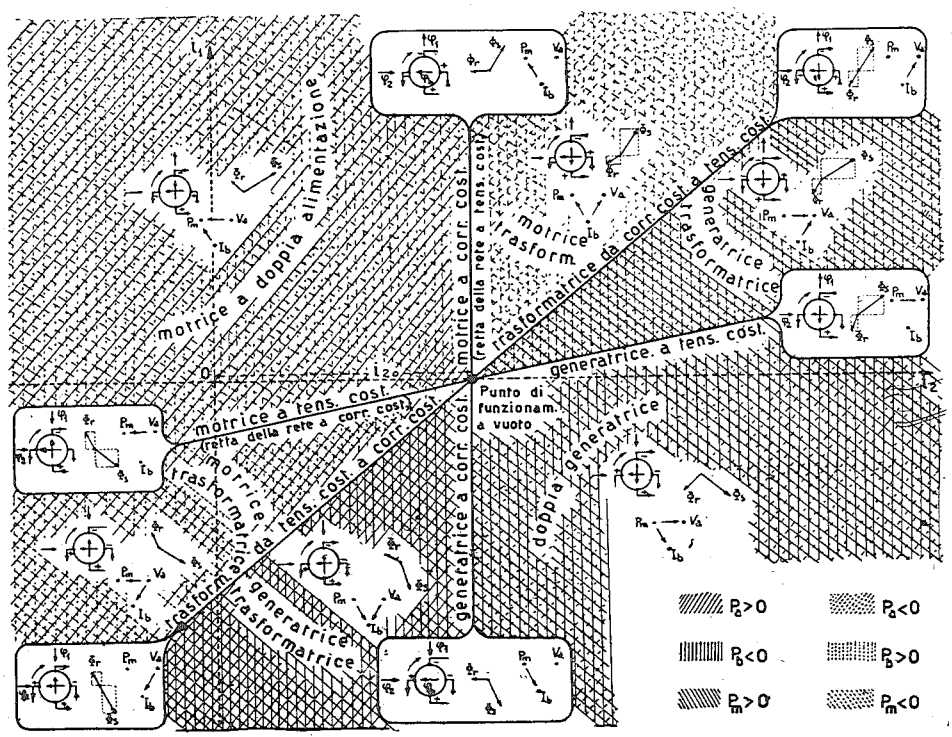

Fig. 9. – Zone di diverso funzionamento della macchina in relazione ai valori delle correnti i_1 e i_2 degli avvolgimenti statorici, per una metadinamo in croce collegata con una rete a tensione costante e con una rete a corrente costante.

(Le rette segnate in nero, che delimitano le diverse zone di funzionamento, sono rette limiti e lungo di esse una delle tre sorgenti di energia non prende parte allo scambio di potenza; il loro punto d'incontro è il punto di funzionamento a vuoto della macchina ed in corrispondenza di esso tutte e tre le sorgenti di energia funzionano a vuoto. Per ognuno dei 12 possibili modi di funzionamento della macchina sono stati indicati nella figura tre diagrammi caratteristici che rappresentano: 1) il senso dei flussi magnetici esistenti nella macchina; 2) la posizione spaziale relativa tra flusso risultante rotorico Φ_r e flusso risultante statorico Φ_s; 3) il senso dello scambio di potenza tra le tre sorgenti di energia [rete a tensione costante V_a, rete a corrente costante I_b, motore primo P_m]).

e per la [5]:

$$[14] \quad P_m = \frac{n^2 k_2^2 i_{20}}{r_a}(i_2 - i_{20}) + \frac{n^2 k k_2}{r_a} I_b (i_2 - i_{20}) + \left. + I_b n k_1 i_1 - I_b \frac{n^2 k k_2}{r_a}(i_2 - i_{20}) = \right.$$
$$= n \left\{ \frac{n k_2^2 i_{20}}{r_a}(i_2 - i_{20}) + k_1 i_1 I_b \right\}$$

e perciò la « retta del motore primo » (cioè quella retta che divide il piano $[i_1, i_2]$ nelle due parti, nelle quali il flusso di potenza tra la macchina e il motore è di segno opposto, e lungo la quale tale flusso di potenza è nullo) avrà per equazione:

$$[15] \quad -k_1 I_b i_1 = \frac{n k_2^2 i_{20}}{r_a}(i_2 - i_{20})$$

Tale retta taglia l'asse x nel punto $i_2 = i_{20}$ ed ha una inclinazione rispetto a quest'asse data da:

a seconda dei valori relativi di I_b e V_a. Il piano (i_1, i_2) può perciò essere variamente tagliato dalla « retta del motore primo », che deve intendersi, per non cadere in errore, come retta orientata ed il semipiano dove $P_m > 0$ (cioè dove il motore primo cede potenza alla macchina) è quello che, nella rotazione in senso orario attorno al punto $P_0 \equiv (i_{20}, 0)$, precede la direzione positiva della retta del motore primo.

La figura 7 mostra le diverse posizioni che può assumere questa retta a secondo dei valori di I_b e V_a e le diverse tratteggiature indicano da qual parte sta il semipiano positivo di P_m e da qual parte sta il semipiano negativo. La retta del motore primo coincide con l'asse x nel caso particolare che la corrente I_b sia tale da produrre un flusso φ_b che induce una f.e.m. $E_a = V_a$; allora i_{20} risulta per la sua stessa definizione uguale a zero. Tutti gli altri casi riportati in figura si possono dedurre con facilità dalla espressione che abbiamo dato di P_m ed hanno un significato fisico evidente.

Modi di funzionamento della macchina. — Riassumendo quanto abbiamo detto, si può concludere che facendo as-

sumere valori opportuni alle correnti i_1 e i_2 dei variatori statorici, si può far funzionare la macchina secondo tutte le possibili combinazioni di scambio di potenza fra le tre sorgenti di energia. Si potrà quindi dividere il piano (i_1, i_2) in diverse « zone di funzionamento », facilmente delimitabili in base a quanto è stato detto.

Supponendo ad esempio che I_b sia negativo (cioè sia diretto in senso tale da produrre un flusso φ_b, che tenda a generare una f.e.m. alle spazzole primarie, concorde con V_a) la corrente i_{20} è positiva e di valore elevato, perchè oltre generare tutta la f.e.m. $E_a = V_a$, deve anche compensare l'effetto della I_b; il piano (i_1, i_2) è allora suddiviso dalle tre rette della rete a tensione costante, della rete a corrente costante e del motore primo alla maniera come è descritta in figura 9.

Il punto $(i_1 = 0; i_2 = i_{20})$ è il « *punto di funzionamento a vuoto* ». Infatti se $i_2 = i_{20}$ si ha $E_a = V_a$ e $I_a = 0$ quindi non vi è scambio di potenza tra macchina e rete a corrente costante; inoltre se $I_a = 0$ anche $\varphi_a = 0$ e se $i_1 = 0$ anche $\varphi_1 = 0$ perciò $V_b = 0$ e quindi non vi è scambio di potenza nemmeno tra la macchina e la rete a corrente costante; infine osservando che il flusso risultante rotorico è sempre a 180° col flusso risultante statorico (fig. 8) se ne deduce che non si verifica nella macchina alcuna coppia nè motrice nè frenante e che perciò non vi è nemmeno scambio di potenza tra la macchina e il motore primo.

Partendo adesso dal punto di funzionamento a vuoto e variando in tutti i modi possibili le due correnti i_1 e i_2 si ottengono tutti i diversi casi di funzionamento illustrati nella figura 9 nella quale, per ogni caso, sono riportati tre piccoli diagrammi: 1) nel primo vi sono indicate le direzioni di φ_1 e φ_2, di I_a e V_b, di φ_a e φ_b, che si verificano in quel caso particolare; 2) nel secondo la posizione relativa tra il flusso risultante rotorico Φ_r e il flusso risultante statorico Φ_s, dalla quale (tenuto presente che la macchina ruota in senso orario) si può stabilire se la coppia che si genera nella macchina è motrice o frenante; 3) nel terzo il flusso di potenza tra le tre sorgenti di energia: motore primo (P_m), rete a tensione costante (V_a) e rete a corrente costante (I_b).

Le tre rette che suddividono il piano (i_1, i_2) nelle zone di diverso funzionamento della metadinamo in croce sono le tre rette della rete a tensione costante, della rete a corrente costante e del motore primo, che abbiamo definito e illustrato ad una ad una in precedenza. La lettura dei piccoli diagrammi riportati in figura, i quali sono facilmente ricavabili caso per caso dalle considerazioni precedentemente svolte, è assai semplice se si tiene presente quanto è stato detto, e cioè: *a*) se I_a ha lo stesso senso di E_a e se E_b ha lo stesso senso di I_b è la macchina che invia potenza in ciascuna rete, nel caso contrario è la rete che manda potenza nella macchina; *b*) se Φ_r segue nel senso del moto Φ_s (se cioè la componente di Φ_r in quadratura con Φ_s è in ritardo di 90° su Φ_s) è la macchina che trascina il motore e quindi gli cede potenza, nel caso contrario è il motore che cede potenza alla macchina.

Si ottengono così 12 diversi possibili tipi di funzionamento della macchina: 1) doppia generatrice; 2) generatrice a tensione costante; 3) generatrice (a tens. cost.) - trasformatrice (da corr. cost. a tens. cost.); 4) trasformatrice da corrente costante a tensione costante; 5) motrice (a corr. cost.) – trasformatrice (da corr. cost. a tens. cost.); 6) motrice a corrente costante; 7) motrice a doppia alimentazione; 8) motrice a tensione costante; 9) motrice (a tens. cost.) – trasformatrice (da tens. cost. a corr. cost.); 10) trasformatrice da tensione costante a corrente costante; 11) generatrice (a corr. cost.) – trasformatrice (da tens. cost. a corr. cost.); 12) generatrice a corr. costante.

5. – LA METADINAMO IN CROCE COME GENERATRICE A CORRENTE COSTANTE, CHE ALIMENTA UN CARICO INERTE.

Abbiamo esaminato in precedenza il funzionamento della metadinamo in croce collegata, mediante le spazzole primarie, ad una rete a tensione costante, e mediante le spazzole secondarie a una rete a corrente costante. Esaminiamo ora il caso in cui alla rete a corrente costante si sostituisce un carico inerte, costituito ad esempio da una resistenza R_b (fig. 3). È chiaro quindi che adesso dalle spazzole secondarie la macchina non può più prelevare potenza, ma al contrario è costretta in ogni caso a cederne prelevandola o dal motore primo o dalla rete a tensione costante o da ambedue contemporaneamente.

Si suppone sempre come in precedenza che le resistenze interne della macchina siano nulle (quindi $E = V_a$, $E_b = V_b$) che non si verifichino fenomeni di saturazione nel ferro e che non vi siano perdite.

Come nel caso precedente la tensione alle spazzole *primarie* è sempre costante ed è uguale a quella della rete V_a; al contrario invece il valore della corrente costante I_b, erogata dalle spazzole secondarie, non è più fisso in questo caso, ma può essere regolato in grandezza e segno a seconda della condizione di funzionamento nella quale si fa lavorare la macchina.

Infatti poichè $E_a = V_a$, per la prima delle [4], si ha:

$$n\,k_2\,i_2 + n\,k\,I_b = V_a\,; \tag{16}$$

ma V_a è una tensione costante; perciò al variare di i_2, I_b deve variare in senso inverso, in modo che sia sempre rispettata la relazione precedente. Infatti, riferendoci alla figura 3 e supponendo che φ_2 sia positivo, se si aumenta i_2, tende ad aumentare la f.e.m. E_a, e quindi diminuisce in misura tanto più grande I_a ed il flusso φ_a da questa prodotto; perciò E_b diminuisce e di conseguenza diminuisce anche I_b sino a che il flusso φ_b da questa prodotto non è tale da indurre, unitamente al flusso φ_2, una f.e.m. E_a uguale a V_a.

Indichiamo con i_{20} quel valore della corrente i_2 capace di produrre un flusso φ_2 che induce da sè solo fra le spazzole primarie una f.e.m. uguale a V_a:

$$n\,k_2\,i_{20} = V_a \tag{17}$$

(i_{20} risulta perciò funzione della velocità e della tensione V_a) allora sostituendo nella [16] si ha:

$$n\,k_2\,i_2 + n\,k\,I_b = n\,k_2\,i_{20} \tag{18}$$

dalla quale si ottiene:

$$I_b = -\frac{k_2}{k}\,(i_2 - i_{20}) \tag{19}$$

Perciò *nella metadinamo in croce funzionante come generatrice-trasformatrice a corrente costante, che alimenta un carico inerte, la corrente* I_b *varia in grandezza e segno ed è funzione della tensione primaria* V_a, *della velocità della macchina e della corrente* i_2 *dell'avvolgimento variatore secondario.* La fig. 10 mostra l'andamento di I_b in funzione di i_2 per un valore positivo, negativo e nullo di V_a.

Come si vede I_b non dipende affatto nè da i_1, nè da R_b; quindi, qualunque sia la potenza erogata $(P_b = R_b\,I_b^2)$, la corrente I_b rimane sempre costante, ed è facile vedere, ripetendo uno dei precedenti ragionamenti, la ragione fisica di tale fatto.

Esaminiamo adesso come variano i contributi che ciascuna delle due fonti di energia (motori primo e rete a corrente costante) dà alla potenza erogata dalle spazzole a corrente costante: $P_b = R_b\,I_b^2$.

Flusso di potenza tra la macchina e la rete a tensione costante. — Come già si è visto, lo scambio di potenza tra la macchina e la rete a tensione costante è determinato, in grandezza e direzione, dal valore e dal segno di I_a. D'altra parte, poichè si è ammesso $E_b = V_b$, per la seconda delle [4] si ha:

$$n\,k_1\,i_1 + n\,k\,I_a = V_b \tag{20}$$

ma poichè $V_b = I_b\,R_b$ si avrà anche che:

[21] $$n\,k_1\,i_1 + n\,k\,I_a = I_b\,R_b$$

e per la [19]:

$$n\,k_1\,i_1 + n\,k\,I_a = -\,R_b\,\frac{k_2}{k}\,(i_2 - i_{20})$$

e quindi:

[22] $$I_a = -\,\frac{k_2\,R_b\,(i_2 - i_{20}) + n\,k\,k_1\,i_1}{n\,k^2}$$

dalla quale si ricava che il valore di I_a dipende da V_a, da i_2, da n, da i_1, e da R_b; I_a è nulla quando:

$$\frac{i_1}{i_2 - i_{20}} = -\,\frac{R_b\,k_2}{n\,k\,k_1}$$

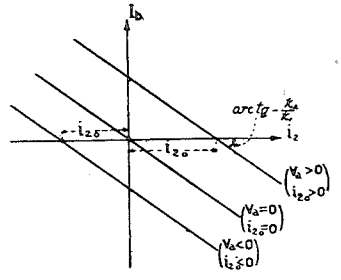

Fig. 10

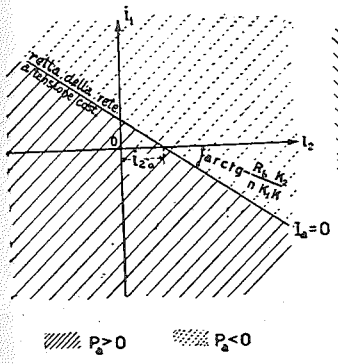

Fig. 11

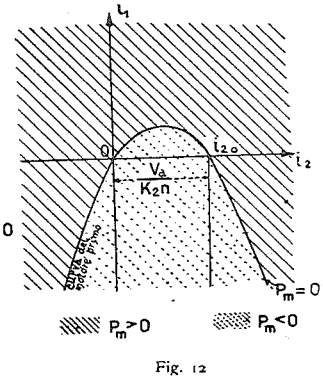

Fig. 12

Fig. 10. – Andamento di I_b in funzione di i_2, per diversi valori di V_a, nella metadinamo in croce funzionante come generatrice a corrente costante, che alimenta un carico inerte.

Fig. 11. – Divisione del piano (i_1, i_2) in zone, in relazione al senso del flusso di potenza tra la macchina e la rete a tensione costante, per una metadinamo in croce funzionante come generatrice a corrente costante, che alimenta un carico inerte.

Fig. 12. – Divisione del piano (i_1, i_2) in zone, in relazione al senso del flusso di potenza tra la macchina e il motore primo, per una metadinamo in croce funzionante come generatrice a corrente costante, che alimenta un carico inerte.

Se quindi ci riferiamo al solito piano (i_1, i_2), la retta della «rete a tensione costante» (cioè quella retta che divide il piano $[i_1, i_2]$ nelle due parti nelle quali lo scambio di potenza tra la macchina e la rete a corrente costante è di segno opposto e lungo la quale tale scambio di potenza è nullo) ha per equazione la relazione precedente (fig. 11).

Tale relazione può essere anche scritta:

[23] $$i_1 = -\,\frac{R_b\,k_2}{n\,k\,k_1}\,(i_2 - i_{20})$$

e ricordando la [19]:

[24] $$i_1 = \frac{1}{n\,k_1}\,R_b\,I_b = \frac{1}{n\,k_1}\,V_b$$

da cui risulta che comunque varino R_b ed I_b, I_a rimane sempre uguale a zero, a condizione che la corrente i_1 sia sempre mantenuta proporzionale a V_b secondo il coefficiente di proporzionalità $\frac{1}{n\,k_1}$; ciò si può ottenere nella pratica collegando il circuito variatore primario in parallelo sulle spazzole secondarie e facendo la sua resistenza ϱ_2 uguale a $n\,k_1$.

Flusso di potenza tra la macchina e il motore primo. — Lo scambio di potenza tra la macchina e il motore che la trascina è indicato evidentemente dalla differenza algebrica tra P_b e P_a:

$$P_m = P_b - P_a$$

perciò P_m sarà zero quando:

$$P_b = P_a$$

$$R_b\,I_b^2 = V_a\,I_a$$

e per la [19] e la [22]:

$$R_b\,\frac{k_2^2}{k^2}\,(i_2 - i_{20})^2 = -\,V_a\,\frac{k_2\,R_b\,(i_2 - i_{20}) + n\,k\,k_1\,i_1}{n\,k^2}$$

[25] $$i_1 = -\,\frac{R_b\,k_2^2}{V_a\,k\,k_1}\,(i_2 - i_{20})^2 - \frac{R_b\,k_2}{n\,k\,k_1}\,(i_2 - i_{20})$$

e perciò la «curva del motore primo» ha per equazione:

[26] $$i_1 = -\,\frac{R_b\,k_2}{k\,k_1}\left\{\frac{k_2}{V_a}\,(i_2 - i_{20})^2 + \frac{1}{n}\,(i_2 - i_{20})\right\}$$

Tale curva (fig. 12) è del 2° ordine e incontra l'asse x nei punti

$$i_2 = i_{20} \quad \text{e} \quad i_2 = i_{20} - \frac{V_a}{n\,k_2} = 0$$

Allorchè $V_a \to 0$ (spazzole primarie in corto circuito), la curva $P_m = 0$ tende a identificarsi con il semiasse negativo delle y ed allora in corrispondenza di tutti i punti del piano (i_1, i_2) il motore primo cede sempre potenza alla macchina e non ne riceve mai; infatti quando $V_a = 0$ il motore è l'unica fonte di energia che rimane e la potenza assorbita dal carico sulle spazzole secondarie non può essere fornita altro che da esso.

Modi di funzionamento della macchina. — La suddivisione del piano (i_1, i_2) nelle diverse zone di funzionamento, nel caso della metadinamo in croce funzionante da generatrice a corrente costante su un carico inerte, è rappresentata nella fig. 13, dove si sono usate le stesse notazioni della figura analoga (fig. 9) del caso generale descritto in precedenza.

Tenendo presente che lungo la retta $i_2 = i_{20}$ la corrente I_b è nulla, si ottengono 7 possibili tipi di funzionamento della macchina: 1) doppia generatrice; 2) generatrice a tensione costante; 3) motrice a tensione costante; 4) motrice (a tens. cost.) – trasformatrice (da tens. cost. a corr. cost.); 5) trasformatrice da tensione costante a corrente costante; 6) generatrice (a corr. costante – trasformatrice (da tens. cost. a corr. cost.); 7) generatrice a corrente costante.

Il punto di funzionamento a vuoto varia la sua posizione al variare di i_{20}, cioè in funzione di n e di V_a. Nel punto di funzionamento a vuoto $(i_1 = 0, i_2 = i_{20})$ le due curve $P_a = 0$ e $P_m = 0$, come si può ricavare dalle loro equazioni, sono fra loro tangenti.

L'andamento di ambedue le curve dipende dal valore di R_b cioè dal carico; per $R_b = 0$ l'equazione di ambedue le curve (cfr. la [24] e la [26]) diviene:

$$i_1 = 0$$

cioè esse coincidono fra loro e con l'asse delle x. La figura precedente allora si semplifica nella fig. 14; il piano (i_1, i_2) viene suddiviso in due parti dall'asse x: nel semipiano superiore la macchina funziona da generatrice a

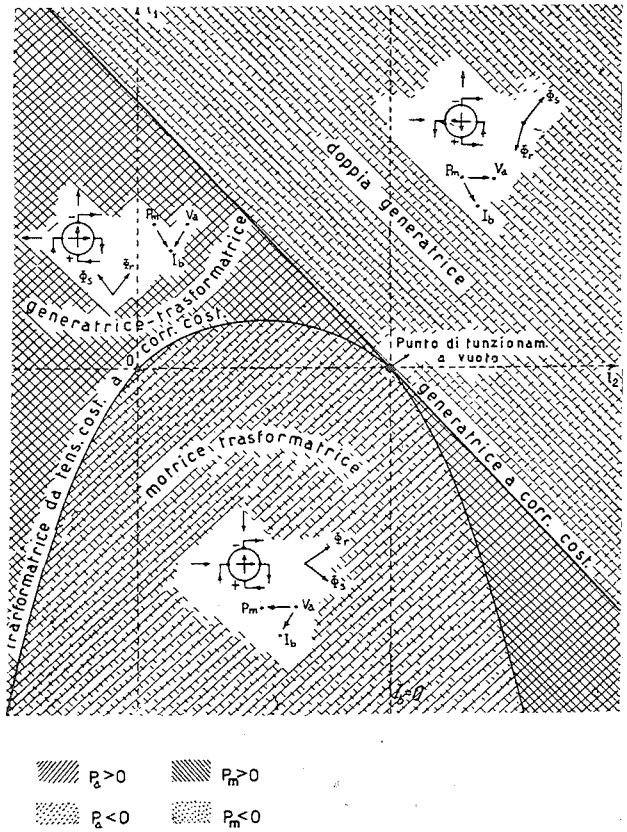

Fig. 13. – Zone di diverso funzionamento della macchina in relazione ai valori delle correnti i_1 e i_2 degli avvolgimenti rotorici, per una metadinamo in croce funzionante come generatrice a corrente costante, che alimenta un carico inerte.

tensione costante, nel semipiano inferiore da motrice a tensione costante. Lo scambio di potenza in questo caso avviene solo tra il motore primo e la rete a tensione costante poichè non vi è alcun carico (R_b) collegato alle spazzole a corrente costante.

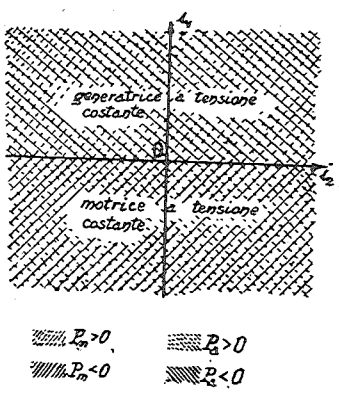

Fig. 14. – Zone di diverso funzionamento della macchina in relazione ai valori delle correnti i_1 e i_2 degli avvolgimenti statorici, per una metadinamo in croce con spazzole primarie collegate a una batteria e spazzole secondarie in corto circuito.

6. – CONCLUSIONI.

Lo studio della metadinamo in croce, eseguito da un punto di vista essenzialmente fisico, permette di seguire più da vicino il concatenamento dei fenomeni elettrici e magnetici, che hanno luogo nella macchina, e consente di esaminare sotto tale aspetto più aderente alla realtà le note proprietà della metadinamo.

In particolare risultano immediatamente evidenti: *a*) la costanza della corrente (o tensione) secondaria al variare del carico, se vengono mantenute costanti la velocità della macchina e la tensione (o corrente) primaria; *b*) l'ufficio degli avvolgimenti statorici, dei quali uno funziona da regolatore del valore della corrente (o tensione) secondaria e l'altro da regolatore del flusso delle potenze tra la macchina, la sorgente di alimentazione e il motore primo.

Lo studio generale di una metadinamo in croce collegata, mediante due spazzole, a una rete a tensione costante, e, mediante le altre due, a una rete a corrente costante, si presenta poi ricchissimo di possibilità diverse di funzionamento, perchè la macchina funziona da elemento distributore fra le tre sorgenti di energia: motore primo, rete a tensione costante e rete a corrente costante. Tutti i possibili casi di distribuzione dei tre flussi di potenza, si possono attuare, regolando in modo opportuno le correnti dei due avvolgimenti statorici.

Semplici considerazioni fisiche dimostrano che esistono tre rette, facilmente ricavabili, ciascuna delle quali divide il piano (i_1 , i_2) (piano dei due assi coordinati cartesiani, sui quali sono riportate le due correnti degli avvolgimenti statorici), in due parti, nelle quali il flusso di potenza tra la macchina e ciascuna delle tre sorgenti di energia è di senso opposto e lungo le quali tale flusso di potenza è nullo. Tutto il piano (i_1 , i_2) può essere così suddiviso in varie zone, nelle quali la macchina ha un funzionamento di tipo diverso; le rette di separazione tra tali zone sono rette limiti e lungo di essa una delle tre sorgenti di energia non prende parte allo scambio di potenza e di conseguenza il loro punto d'incontro è il punto di funzionamento a vuoto della macchina.

Si giunge così a individuare 12 diversi possibili tipi di funzionamento della macchina: 1) doppia generatrice; 2) generatrice a tensione costante; 3) generatrice (a tens. cost.) – trasformatrice (da corr. cost. a tens. cost.); 4) trasformatrice da corrente costante a tensione costante; 5) motrice (a corr. cost.) – trasformatrice (da corr. cost. a tens. cost.); 6) motrice a corrente costante; 7) motrice a doppia alimentazione; 8) motrice a tensione costante; 9) motrice (a tens. cost.) – trasformatrice (da tens. cost. a corr. cost.); 10) trasformatrice da tensione costante a corrente costante; 11) generatrice (a corr. cost.) – trasformatrice (da tens. cost. a corr. cost.); 12) generatrice a corrente costante.

Allorchè le spazzole, dalle quali viene erogata la corrente costante, vengono collegate a un carico inerte, costituito da una resistenza ohmica (invece che a un circuito alimentato a corrente costante) viene a mancare, rispetto al caso precedente, una delle tre sorgenti di energia e la macchina non può più prelevare potenza dalle spazzole secondarie ma al contrario è costretta in ogni caso a cederne prelevandola o dal motore primo o dalla rete a tensione costante o da ambedue contemporaneamente; i possibili tipi di funzionamento della macchina si riducono allora a 7: 1) doppia generatrice; 2) generatrice (a corr. cost.) – trasformatrice (da tens. cost. a corr. cost.); 3) trasformatrice da tensione costante a corrente costante; 4) motrice (a tens. cost.) – trasformatrice (da tens. cost. a corr. cost.); 5) generatrice a corrente costante; 6) generatrice a tensione costante; 7) motrice a tensione costante.

Se, come caso particolare del precedente, si assume, come valore della tensione costante collegata alle spazzole primarie, il valore zero (cioè se si chiudono in corto circuito le spazzole primarie), la macchina ha una sola possibilità di funzionamento (generatrice a corrente costante), perchè l'energia non può fluire altro che dal motore primo al carico sulle spazzole a corrente costante.

Infine, se si chiudono invece in corto circuito le spazzole secondarie (spazzole a corrente costante), la macchina ha due possibilità di funzionamento: generatrice a tensione costante e motrice a tensione costante.

Pisa, Istituto di Elettrotecnica dell'Università.

LETTERE ALLA REDAZIONE

Progressi nel campo delle ultrafrequenze.

Riceviamo: Bologna, 15 marzo 1947.

Sig. Direttore de « L'Elettrotecnica » - via S. Paolo, 10.

Sig. Direttore,

Mi riferisco alla bella esposizione che il chiarissimo collega Montefinale ha pubblicato nel numero di gennaio de « L'Elettrotecnica », *passando in rassegna i progressi nel campo delle ultrafrequenze, per dare alcune precisazioni storiche che riguardano l'opera di mio Padre, come realizzatore di microndе, di cui fa cenno l'A. con qualche imprecisione di dati.*

Nelle memorie pubblicate da Augusto Righi nei Rendiconti della R. Accademia dei Lincei nel 1893 *sono descritti gli apparecchi impiegati per produrre e rivelare onde di* 20 *cm e onde di* 7,5 *cm e si aggiunge*: « *Con questi apparecchi* a breve lunghezza d'onda *la distanza alla quale possono trovarsi l'uno dall'altro il risonatore e l'oscillatore... è relativamente considerevole* ».

Nel volume « *L'Ottica delle oscillazioni elettriche* », *edito nel* 1897, *a pag.* 30 *è detto*: « *... è però certo che con grandi apparecchi... si riescirebbe a mettere in evidenza gli effetti prodotti a distanze considerevolissime dall'oscillatore* ».

In memorie del 1894 *si legge*: « *Sono giunto a costruire apparecchi... con lunghezza d'onda di poco più di due centimetri* (*circa* 2,6 *cm misurata col metodo dei due specchi di Boltzmaun*) ».

Aggiungo infine che Guglielmo Marconi nelle esperienze di Pontecchio con l'oscillatore Righi impiegò non onde di 66 *cm, bensì di* 25 *cm.*

La prego di pubblicare la presente in « L'Elettrotecnica » *e La ringrazio.* ALDO RIGHI

NOTIZIE E INFORMAZIONI

Facciamo il punto della ricostruzione delle F. S.

Sotto questo titolo gli ingg. E. Lo Cigno e G. Corbellini pubblicano sulla rivista « Ingegneria Ferroviaria » (*gennaio* 1947) *una interessante relazione che qui ampiamente riassumiamo nelle sue parti essenziali.*

Complessivamente sono stati distrutti o danneggiati circa 5 000 km di linee, di cui 2/3 a doppio binario, 68 km di ponti in muratura, 35 km di ponti in ferro, 4 500 km di binari di corsa, 2 600 km di binari di stazione, 7 000 fabbricati, 3 000 km di linee ad alta tensione, 11 000 km di binario elettrificato. Nonostante questo disastro, se avremo tempestivamente dall'estero le materie prime necessarie si prevede di completare per la fine del 1948 la ricostruzione degli impianti fissi pressochè allo stesso grado di efficienza antibellica

Nei lavori di ripristino degli impianti di elettrificazione viene eseguito il criterio di mantenere il sistema a c. c. a 3 000 V con filo aereo, ove detto sistema era in atto, e di rielettrificare con tale sistema quelle linee già elettrificate a corrente trifase, 16 Hz, dove gli impianti sono stati in gran parte distrutti, nonchè la linea Avezzano-Sulmona già elettrificata a 10 000 V, 45 Hz. Il sistema trifase, 16 Hz, viene mantenuto sulla linea Brennero-Bolzano-Trento, sulla Bolzano-Merano, sulle linee Valtellinesi, e nel gruppo di linee liguri piemontesi, dove la trasformazione a c. c. potrà essere fatta in prosieguo di tempo, quando verrà man mano esaurendosi il parco di locomotori trifase, che non viene rinnovato. Lo stesso dicasi per la sostituzione del sistema a terza rotaia 650 V c. c. della Milano-Varese-Porto Ceresio.

Nel ripristino delle linee primarie viene seguito il concetto di mantenere quelle a 120 kV, e di evitare, per quanto possibile, la ricostruzione delle linee a 60 kV, ad eccezione del complesso di primarie della regione ligure-piemontese, che verrà interamente mantenuto alla tensione di 60 kV.

La spesa per la riattivazione degli impianti fissi è di circa duecentodieci miliardi, dei quali settantasette sono già stati spesi o sono in corso di erogazione oltre a quattordici miliardi stanziati per la costruzione di case ed altri lavori in conto patrimoniale, e centotrenta saranno stanziati e spesi negli anni 1947 e 1948, entro il quale termine si conta di ultimare il ripristino degli impianti fissi.

Per migliorare le condizioni delle linee ed aumentare il flusso del traffico occorre:

1° Completare il ripristino del doppio binario;

2° Ripristinare gli impianti di segnalamento, di sicurezza e blocco;

3° Riattivare in modo completo gli impianti di elettrificazione.

Il ripristino del doppio binario non ha avuto lo sviluppo desiderabile per manzanza del materiale d'armamento, inquantochè le ferriere hanno fornito, in un anno, soli 220 km di binario.

Per completare i binari di corsa su tutte le linee occorrono oggi 2 250 km circa di binario: 1 400 km del modello pesante sulle linee principali, 850 km sulle linee a binario semplice. Si debbono ancora ricevere dall'America 500 km circa di armamento con rotaie da 49 kg per m, altre rotaie si potranno avere dall'estero per i binari sulle linee secondarie.

Le nostre ferriere producono oggi, in media, 300 km di binario all'anno, e pertanto è da prevedersi che entro il 1947 sarà completato il raddoppio sulle linee Milano-Bologna-Firenze - Roma - Napoli - Battipaglia, Modane - Torino - Genova-Pisa-Roma, e Torino-Milano.

Entro il 1948 sarà ultimato il raddoppio sulle linee Bologna-Padova, Mestre-Trieste, Firenze-Pisa, Bologna-Faenza, Torino-Fossano-Ceva.

Per quanto riguarda il segnalamento sono in corso provvedimenti intesi a migliorare la protezione dei treni ripristinando, nelle stazioni principali, la manovra dei segnali d'avviso a distanza ed eseguendo l'impianto provvisorio dei segnali di partenza.

In pari tempo sono stati appaltati ed iniziati i lavori per l'impianto degli apparati centrali elettrici in tutte le stazioni della Napoli-Roma-Bologna, e del blocco automatico sulla Roma-Napoli. Analoghi impianti saranno presto iniziati sulla Bologna-Milano.

Come per il segnalamento, anche la riattivazione degli impianti di trazione elettrica non ha potuto avere quello sviluppo che sarebbe stato necessario, e ciò per deficienza delle materie prime, ed in particolare del rame per i conduttori delle linee di contatto.

Pur tuttavia, la linea da Milano a Reggio Calabria, la Bologna-Verona-Brennero, la Orte-Falconara, la Napoli-Foggia, la Villa Literno-Aversa sono state rielettrificate.

Però, mentre prima delle distruzioni belliche, il servizio era assicurato grazie all'alimentazione della linea di contatto da sottostazioni alla distanza di circa 40 km l'una dall'altra, equipaggiate con due o tre gruppi di trasformazione e conversione della potenza di 2 000 kW ciascuno, oggi, per mancanza dei gruppi trasformatore-raddrizzatore, l'alimentazione non è più efficiente, ed il flusso di traffico sulle linee ha intensità limitata, anche perchè non si può provvedere alla contemporanea alimentazione di vari treni per difetto di potenza.

Entro il primo semestre del 1947 il servizio a T. E. della Milano-Reggio Calabria sarà completato.

Nello stesso tempo, e con i materiali a disposizione, verrà ultimata entro maggio l'elettrificazione della Milano-Domodossola, diretta ad accelerare i nostri traffici con la Svizzera; entro marzo verrà rielettrificata la Sestri-Levante-Spezia, entro luglio la Spezia-Livorno e la Roma-Grosseto, alla fine del corrente anno la Grosseto-Livorno.

I lavori sulla Bologna-Ancona verranno iniziati non appena si avrà la conferma dell'arrivo del rame dall'America.

Entro il 1947 sarà completata la riparazione del cavo telegrafico da Milano a Roma, ed eseguito il ripristino della linea telegrafonica aerea fra Roma e Napoli.

Fervono gli importanti lavori dell'importo di 2 miliardi sulla Porrettana, che verrà riattivata entro maggio da Bologna a Pracchia ed entro ottobre da Pistoia a Pracchia.

Prospetto dei danni subiti dalle linee ed impianti e situazione dei lavori al 31 dicembre 1946.

N.	IMPIANTI	Unità di conto	Consistenza prima dei danneggiam.	Quantitativi rimasti intatti	Riparazioni eseguite	Riparazioni definitive da eseguire
1	Binari di corsa { doppio binario	km	8 945	5 771	1 440	1 734
	{ semplice binario	»	12 251	10 927	810	514
2	» » Stazione	»	7 47	4 838	1 290	1 350
3	Ponti in muratura { ponti	N.	39 091	35 148	1 600	2 343
	{ sviluppo	m	242 49	174 20	30 300	37 992
4	Ponti in ferro { ponti	N.	4 067	3 256	200	611
	{ sviluppo	m	78 684	43 710	6 600	28 374
5	Gallerie a doppio binario { gallerie	N.	225	165	54	6
	{ sviluppo	m	179 31	168 948	9 170	1 200
6	Gallerie a semplice binario { gallerie	N.	1 624	1 338	116	170
	{ sviluppo	m	731 668	677 284	20 800	34 084
7	Linee ad alta tensione { km di linea	km	5 672	2 602	1 316	1 754
	{ km di terna	»	8 972	4 543	2 105	2 324
8	Linee di contatto { km di binario elettr. ..	»	12 000	1 200	6 195	4 605
	{ km di linea	»	5 600	600	3 700	1 300

Così dicasi della Faenza-Firenze, la cui spesa per ripristino ascende a circa un miliardo.

*

La ricostruzione del materiale rotabile, iniziatasi nel 1945, ebbe il suo pieno sviluppo nel 1946.

a) *Costruzione di nuove Locomotive E. 424.*

Le consegne di un primo gruppo di esse saranno iniziate nei primi mesi del 1947. Il prototipo è già in servizio da alcuni mesi.

Nel 1947 saranno costruite 75 locomotive di tale tipo e negli anni '48-50 ne saranno ultimate altre 140.

b) *Costruzione di nuove carrozze leggere di 3ª cl. Cz.*

I 10 prototipi furono ultimati nel 1946. Le consegne delle prime 1 000 unità, messe in lavoro dal 1946, saranno iniziate nella primavera 1947 ed ultimate nel primo semestre del 1948. Saranno costruite anche carrozze di 2ª cl. e di 1ª cl.

c) *Costruzione di nuovi carri merci.*

Durante il 1946 furono costruiti 4 899 carri nuovi e si spera che il ritmo di 550-600 carri nuovi in media al mese venga mantenuto anche nel 1947.

d) *Riparazioni di carri, carrozze e bagagliai.*

Il censimento eseguito nel marzo 1946 mise in evidenza una rimanenza sulla Rete Italiana di ben 46 441 unità da riparare e in gran parte da ricostruire. Dall'aprile 1946 al dicembre successivo la rimanenza di veicoli riparandi diminuì di oltre 10 000 unità riducendosi a 36 223 veicoli.

Il parco dei carri efficienti ed utilizzati che al 1° dicembre 1946 era di 67 029 unità è salito a 86 522 unità al 31 dicembre con un aumento di ben 19 693 unità, pari a circa il 30 % del parco al principio dell'anno.

Il parco carrozze in servizio che al 1° gennaio 1946 era di 1 251 unità è aumentato al 31 dicembre dello stesso anno di 949 unità. Questo sensibile miglioramento sarà ulteriormente incrementato nel 1947 sia con la costruzione di nuove carrozze sia con la ricostruzione di gran parte delle 3 000 carrozze gravemente danneggiate dalla guerra che verranno riparate con un ritmo approssimativo di circa 1 500 unità nell'anno 1947.

e) *Riparazione di locomotive a vapore.*

Le locomotive a vapore a scartamento normale efficienti al 1° gennaio 1946 erano 2 034; al 31 dicembre esse ammontavano a 2 253.

f) *Riparazione di locomotive elettriche.*

La situazione del parco elettrico è la seguente:

	1° genn.	31 dicem.
Locomotive a 3,6 kV e 16,7 Hz	405	510
Locomotive a 3 kV e c.c.	343	525
Elettrotreni	—	5
TOTALE	748	1 040

g) *Riparazione delle automotrici.*

Le variazioni nel parco sono riassunte nel seguente prospetto:

	1° genn.	31 dicem.
Automotrici elettriche	64	105
» termiche	126	170
Autotreni Diesel	—	1
TOTALE	190	276

Riassumendo, la situazione del parco locomotive e veicoli F.S. efficienti ed utilizzati per il traffico si presenta come dal seguente prospetto:

	1° genn. 1946		31 dicem. 1946		aumento		%
Carri	67 029		86 722		+ 19 693		30
Carrozze	1 251	2 061	2 200	3 450	+ 949	1 389	40
Bagagli e postali	810		1 250		+ 440		
Locomotive a vapore ...	2 034	2 782	2 253	3 293	+ 219	511	18
Locom. elettr.	748		1 040		a + 292		

h) Il programma per la ricostruzione del parco carri è riassunto nel seguente prospetto:

Carrozze - Bagagliai e postali

	1946	1947	1948	1949	1950
In servizio all'inizio dell'anno	2 061	3 450	5 550	8 000	10 620
Riparati in aum. .	1 389	1 500	1 550	1 720	—
Di nuova costr....	—	600	900	900	900
TOTALI	3 450	5 550	8 000	10 620	11 520 (1)

(1) Di cui 7 500 carrozze e 4 020 bagagli.

Carri

	1946	1947	1948	1949	1950
In servizio all'iniz. dell'anno	67 029	86 722	107 000	124 000	137 000
Carri riparati in aumento	14 794	12 278	10 000	5 566	—
Carri di nuova costruzione ...	4 899	8 000	7 000	7 434	7 000
Alla fine d'anno: TOTALI....	86 722	107 000	124 000	137 000	144 000 *

(*) Salvo restituzione di carri in conto riparazioni di guerra.

Automotrici termiche

	1946	1947	1948	1949	1950
In servizio all'inizio dell'anno	126	170	350	600	800

Riparate in aumento	44	150	150	100	—
Di nuova costruzione	—	30	100	100	75
TOTALI	170	350	600	800	875

Elettromotrici – Treni bloccati elettrici – Elettrotreni

	1946	1947	1948	1949	1950
In servizio all'inizio dell'anno	64	105	207	282	357
Riparate in aumento	41	102	—	—	—
Di nuova costruzione	—	—	75	75	8
TOTALI	105	207	282	358	365

Locomotive a vapore

	1946	1947	1949	1949	1950
In servizio all'inizio dell'anno	2 034	2 253	2 453	2 653	2 753
Locomotive riparate in aumento.....	219	200	200	100	100
Di nuova costruz...	—	—	—	—	—
TOTALI	2 253	2 453	2 653	2 753	2 853 (1)

(1) Accantonate: in attesa di demolizione circa 600; in attesa di eventuale riparazione circa 300.

Locomotive elettriche a c. c. 3 000 V

	1946	1947	1948	1949	1950
In servizio all'inizio dell'anno	343	525	800	850	900
Riparate in aumento	182	200	—	—	—
Di nuova costruzione	—	75	50	50	40
TOTALI	525	800	850	900	940

Locomotive elettriche trifasi

	1946	1947	1948	1949	1950
In servizio all'inizio dell'anno	343	525	—	—	—
Riparate in aumento	182	15	—	—	—
Di nuova costruzione	—	—	—	—	—
TOTALI	525	540	—	—	—

*

Nel programma generale della ricostruzione ferroviaria italiana, le linee a grande traffico risulteranno tutte elettrificate, quelle secondarie aventi traffico a carattere locale avranno invece, salvo qualche eccezione, servizi viaggiatori svolti con automotrici termiche e merci con locomotive a vapore (e successivamente a combustione interna) di media potenza.

Si ritiene che il programma sommariamente riassunto potrà venire realizzato in modo armonico contemporaneamente alla rinnovata potenzialità delle linee e degli impianti stessi.

Prospetto di impegno di spesa per la ricostruzione del materiale rotabile, macchinario e mezzi d'opera d'officina e navi traghetto (in milioni di lire al 1° gennaio 1947).

	1946	1947	1948	1949	1950
Riparazione e costruz.:					
a) carrozze	6 100	9 700	15 000	15 200	13 600
b) carri	16 414	18 500	14 100	13 600	12 600
c) locomotive elettr. a c. c. 3 kV	2 235	3 200	3 500	2 500	2 000
d) elettromotrici ed elettrotreni	2 252	1 300	3 200	3 000	1 600
e) Automotr. a combustione interna.	900	2 100	3 860	3 840	2 900
f) Navi traghetto ..	400	1 500	500	—	—
Riparazioni:					
a) locomotive a vapore ed acquisto locomotive e alleate	5 800	2 000	2 000	1 000	1 000
b) locomotive elettr. trifasi	500	500	—	—	—
TOTALI	34 601	38 800	42 160	39 140	33 700
			188 401		
Macchinario delle officine e dei depositi e impianti fissi	650	400	200	200	—
Ripristino delle condizioni normali del parco in esercizio	(7500)	(6000)	(5500)	(3000)	(2000)
TOTALI GENERALI .	42 751	45 200	47 860	42 340	35 700
			213 851		

* *

Sulle **risorse idrauliche varesine** ha pubblicato uno studio l'ing. L. Passerini in un opuscolo che ci perviene. Dopo alcune osservazioni idrografiche e geologiche sul bacino del lago di Varese e su quello dell'Olona, l'A. prospetta alcune proposte intorno alla utilizzazione del lago di Varese e delle risorse idrauliche della plaga. Il lago dovrebbe essere destinato a serbatoio di accumulazione, continuando a erogare attraverso il rio Bardello la competenza d'acqua per la quale il Demanio è impegnato verso utenze precostituite. Le piene dell'Olona dovrebbero venire scaricate nel lago di Varese, secondo un progetto già avanzato dall'ing. Marescotti, attraverso una galleria sotto il dosso fra Bizzozzero e Capolago. Un canale livellato lago di Varese-lago Maggiore permetterebbe di scaricare in quest'ultimo nei mesi di gennaio e febbraio una portata continua di 6,66 m³/sec. Viceversa durante i mesi estivi (maggio-agosto) si potrebbe derivare la stessa portata dal Lago Maggiore per usarla a scopo di irrigazione di 7000 ettari di terreno ora incolto nella brughiera, migliorando così le condizioni agricole della provincia che è, sotto questo aspetto, una delle meno favorite in Italia. L'acqua scaricata durante l'inverno nel Verbano potrebbe essere utilizzata nelle centrali sul Ticino su un salto complessivo di 64,20 m.

* *

Il Comitato Esecutivo della **Conference Internationale des Grands Réseaux Électriques** (CIGRE) si riunirà l'11 giugno prossimo a Montrèal nel Canadà. In tale occasione il Comitato nazionale canadese invita i membri europei della CIGRE a recarsi a Montréal per visitare quegli impianti elettrici. La visita coinciderebbe con il congresso dell'American Institute of Electrical Engineers e ciò offrirebbe ai visitatori europei singolari occasioni di incontri personali e facilitazioni per visite tecniche, ecc. Per i visitatori è anche preparato un programma di ricevimenti e di gite.

Coloro che desiderano partecipare sono invitati a prenotare al più presto una camera di albergo telegrafando a Mr. John Morse (Shawinigam Water and Power Cy. P. C. Box 6072 - Montrèal).

LIBRI E PUBBLICAZIONI

A. DRIGO e G. ALOCCO: *Fisica pratica.* (Riccardo Zannoni editore, Padova, 1945. Un volume di 17 × 25 cm, di 1146 pagine, con 789 figure).

Riceviamo per recensione la quarta edizione del volume di Fisica Pratica. In questo volume sono raccolte tutte le essenziali esperienze dimostrative con le quali si verificano sperimentalmente le leggi che governano la fisica e gli aspetti dei vari fenomeni. Ogni esperienza è corredata di dati numerici, esempi e chiarimenti per la realizzazione. Il volume è principalmente diretto ai Docenti per il completamento dei corsi di lezioni; ciò, tenendo presente che per la mente dell'allievo è molto più efficace l'esperienza di laboratorio che il puro ragionamento deduttivo. Con l'esperimento fisico si addestra l'allievo alla difficile arte dello sperimentare.

*

A. MARCANTONI: *Lezioni sulla teoria degli errori.* (Vallerini, Editore, Pisa, 1946. Un volume di 17 × 25 cm, di 264 pagine, 34 figure. Prezzo L. 340).

Queste lezioni fanno parte del corso di « Topografia con elementi di Geodesia » svolto presso la Facoltà di Ingegneria della Università di Pisa. Il volume stampato in litogra-

fia come dispense, è diretto precipuamente agli studenti di ingegneria. Presuppone una buona preparazione matematica ed è accessibile a un relativamente esiguo, ma eletto numero di studiosi. L'A. premette al suo corso alcune nozioni desunte dalla Statistica ed inerenti alle proprietà della media aritmetica, nozioni che sostituiscono quelle che ordinariamente si danno come base togliendole dal Calcolo delle Probabilità. Da queste premesse e con l'ausilio del calcolo con le matrici, del quale è esposto un compendioso e chiaro riassunto in appendice, l'A. passa ad esaminare l'origine, la valutazione e compensazione degli errori nelle osservazioni dirette, indirette e condizionate (intendendosi per queste ultime l'osservazione di grandezze legate fra di loro da equazioni di condizione). Un particolare capitolo è dedicato alla compensazione degli errori nelle triangolazioni.

*

M. PUMA: *Un nuovo trattato di geometria e meccanica quantistiche.* (Istituto Pitagora, Roma, 1945. Un volume di 17 × 24 cm, di 384 pagine, con 30 figure. Prezzo L. 300).

Anche per accostarsi alla fisica moderna occorrono degli atti di fede, il che, in fondo, non si addice al carattere della scienza. Uno di questi atti di fede sta nella accettazione del postulato della costanza della velocità limite della luce e prima ancora della sua costanza il fatto che vi debba essere una velocità limite. Questo è un dogma suffragato dall'esperienza, provato dai calcoli, ma pur sempre un mistero che rifugge al nostro raziocinio quando questi si basi sull'intuizione. Una volta ammesso questo postulato si può accettare senza sforzo alcuno la proposizione del quanto di azione di Plank, così brillantemente confermato dall'esperienza, la costruzione di De Broglie e tutto quanto derivato dalle matematiche relativistiche e quantistiche. Molti si sono accinti ad affrontare il perchè della velocità limite della luce e ne hanno proposto modelli più o meno felici. L'A., nel volume, cerca di darne una spiegazione e riallacciandosi alle idee di Pitagora propone la quantizzazione sia dello spazio sia del tempo, e ne considera tutte le conseguenze, delle quali la principale è precisamente quella di una velocità limite. Il modello è razionale, esposto con lucidezza ed ha il merito non da poco di spiegare in modo conseguente e chiaro tutta (o quasi) la meccanica quantistica, non obbligandoci a presupposti ideologici che per il fatto di allontanarsi dalla nostra comprensione immediata conservano un certo non so che di dogmatico, anche se suffragati dall'esperienza.

Il volume, del massimo interesse, parte dalla dimostrazione della possibilità e razionalità dell'esistenza dell'atomo spaziale e dell'atomo di tempo (istante) e partendo da questi presupposti l'A. costruisce la nuova geometria quantistica. Questa per potersi chiamare tale deve soddisfare, secondo l'A., ai seguenti requisiti: 1°) superare la critica Eleatica; 2°) stroncare la questione della incommensurabilità dei segmenti; 3°) fondarsi sopra un gruppo di postulati non contradditori; 4°) riuscire asintotica, nel campo macroscopico, alla geometria ordinaria. Una volta gettate le basi della geometria quantistica è breve il passo per arrivare alla meccanica quantistica. Questa esistendo già, l'A. non ne fa che la riprova e ne dimostra l'inquadramento nel nuovo schema logico.

Nella parte terza l'A. estende la quantizzazione anche alle unità elettriche e magnetiche, tante volte tentata ma non mai raggiunta. Scopo dell'A. era quello di arrivare ad inquadrare le equazioni del Dirac per l'elettrone nel campo elettromagnetico e dare una logica interpretazione del principio d'esclusione del Pauli. Per quanto questa terza parte sia la più sommaria, può essere un buon indirizzo per la costruzione di una teoria elettrologica puramente quantistica. L'A. si riserva appunto di dedicare un nuovo lavoro a questo argomento.

*

G. OBERTI: *Scienza delle costruzioni.* (Libreria Ed. Politecnica, Milano, 1945. Un volume di 18 × 25,5 cm, di 484 pagine, con 276 figure. Prezzo L. 400).

Il volume inviatoci per recensione è la raccolta delle dispense litografiche del corso tenuto dall'A. presso la Facoltà di architettura del Politecnico di Milano. Pur essendo stampato in veste litografica si presenta in forma decorosa, di facile lettura e chiaramente illustrato. Corredato di 62 esercizi permette allo studioso di passare dalla chiara esposizione teorica alla pratica applicazione.

*

L. STABILINI: *Ponti.* (Libreria Editrice Politecnica, Milano, 1946. Un volume di 18 × 25,5 cm, di 656 pagine, con 396 figure. Prezzo L. 900).

È il volume di dispense del corso tenuto dal prof. Stabilini al Politecnico di Milano. Per quanto stampato in veste litografica, essendo ricavato da originali scritti a macchina, è di facile lettura ed è corredato di disegni chiari ed accurati. Il volume è diviso in tre parti: la prima tratta del progetto dei ponti; la seconda e la terza rispettivamente la teoria dei carrelli mobili e della statica dei ponti.

*

G. B. ANGELETTI: *Note di servizio (Radio Service).* Manuale con appunti particolari sui vari apparecchi radio ad uso dei lavoratori di riparazione, controllo e taratura. (Radio Industria, Milano, 1946. Un volume di 17 × 24 cm, di 370 pagine. Prezzo L. 420).

È uscita la seconda edizione di « Note di Servizio (Radio Service) », di G. Bruno Angeletti, autore del « Manuale del Radiomeccanico ». L'A. ha raccolto in un volume numerose note e schemi sugli apparecchi radio italiani. I disegni riguardano, in una prima parte generale, le nozioni sull'uso degli strumenti di laboratorio, poi, particolarità sulle valvole più in uso con un prontuario per la ricerca dei vari collegamenti allo zoccolo. Seguono, con note ed informazioni individuali, i principali apparecchi descritti con ogni particolarità utile al riparatore e tenendo conto delle particolari esigenze appunto della manutenzione e della riparazione. È un utile libro di consultazione per radiotecnici destinati alla riparazione degli apparecchi radio.

*

F. B. PIDDUCK: *Currents in Aerials and High-frequency Networks.* (Oxford, Clarendon Press, 1946, pag. 97. Senza indicazione di prezzo).

Il volume porta un contributo originale alla teoria della distribuzione della corrente nelle antenne. Senza formulare alcuna ipotesi iniziale sulla distribuzione della corrente, ma ammettendo che essa vari sinusoidalmente nel tempo e sia sviluppabile (in quanto funzione di un'ascissa misurata lungo l'antenna) in serie di Fourier, si giunge ad un sistema di equazioni con cui si possono determinare i coefficienti della serie. I coefficienti ed i termini noti di queste equazioni si possono interpretare come impedenze proprie e mutue (se le antenne sono più di una) e come tensioni impresse alle antenne, con definizione rigorosa e generale valevole per il caso di circuiti aperti irradianti.

La teoria è estesa senza difficoltà a reti di conduttori aventi lunghezza paragonabile alla lunghezza d'onda, alle linee di trasmissione irradianti. Sono esemplificati numerosi casi particolari e sviluppate applicazioni numeriche.

La comprensione del lavoro non richiede profonde conoscenze matematiche, dato che non piccolo pregio è quello di essere giunto a risolvere un problema tanto discusso senza ricorrere alle matematiche superiori. Tuttavia le formule risolutive non sono semplici, come ci si deve aspettare in problemi tanto complessi, e quindi le applicazioni numeriche diventano laboriose. Il volume è completato da una estesa tabella del seno e del coseno integrale, da una tabella del seno e del coseno circolare in funzione dell'argomento espresso in radianti e da una tabella di una nuova funzione introdotta nel testo.

Il volume è raccomandabile a chiunque si interessi della teoria e della pratica delle antenne e delle linee irradianti e non può essere ignorato in qualsiasi completa trattazione dell'argomento.

*

L. PASSERINI: *Risorse idrauliche varesine.* (Varese, 1947. Un opuscolo di 26 pagine).

In questo opuscolo l'A. illustra brevemente le caratteristiche geologiche e idrografiche dei bacini del lago di Varese e dell'Olona. Traccia poi le linee generali di un piano di utilizzazione del lago di Varese come bacino di accumulazione, con un canale di comunicazione col Lago Maggiore

nel quale potrebbe essere versato un notevole contributo idrico invernale, mentre se ne deriverebbe una certa portata estiva per irrigazione della brughiera. Vengono esposte considerazioni di carattere economico e finanziario sulle spese e i profitti del piano proposto.

*

O. TAZZARI: *R.D.R. Sintesi di radiotelemetria.* (Associazione Culturale Aeronautica, Roma, 1945. Un fascicolo di 10,5 × 15,5 cm, di pagine 44, con 11 figure. Prezzo L. 35).

Questa monografia fa parte della collana « Quaderni Aeronautici » che hanno scopi divulgativi limitatamente al campo dei cultori di aeronautica, ed è estratta dalla « Rivista Aeronautica ». Il testo del fascicolo illustra la storia del radar, i suoi effetti, i risultati tattici conseguiti col suo mezzo e le modalità di funzionamento.

DALLE RIVISTE

M. Wenger — **Paratoie a ventola a funzionamento automatico.** (Informations Techniques Charmilles, maggio 1945, pag. 27 a 43, con 43 fig.).

Per lo smaltimento delle piene e la regolazione del livello di ritenuta dei serbatoi, si ricorre, come è noto, ad organi sversatori, disposti in cresta dello sbarramento. Data in genere la necessità di provvedere anche al passaggio di corpi galleggianti, tali organi possono essere costituiti da paratoie a ventola, le quali nella posizione di completo abbattimento assicurano il deflusso di una lama d'acqua, corrispondente alla portata massima da smaltire, e non frappongono alcun ostacolo.

Due recenti importanti installazioni del genere sono: quella di Ermal, in Portogallo, e quella di Verbois, presso Ginevra.

Prima di procedere all'esecuzione di tali opere si sono effettuate esperienze su modelli.

L'Autore rende noti i risultati di una doviziosa serie di prove, istituite per la determinazione del valore optimum del coefficiente di efflusso m, dell'espressione $Q = mbh\sqrt{2gh}$, che dà la portata, in funzione della larghezza b della soglia e dell'altezza h di ritenuta. Tale studio ha altresì portato alla determinazione delle spinte idrauliche sulla ventola, per i diversi gradi di apertura. Si è del pari tenuto conto dell'influenza che hanno sull'efflusso le opere murarie adiacenti alla zona delle paratoie.

Incidentalmente viene fatto rilevare che le prove ed i risultati prescelti sono stati raggiunti attraverso la fattiva collaborazione fra il Laboratorio di Idraulica della Scuola di Ingegneria di Losanna, l'Ingegnere consulente ed il costruttore.

Con riferimento all'impianto di Ermal, tenuto conto delle portate disponibili al Laboratorio d'Idraulica, si adottò per il modello una scala di riduzione di 1 a 18: la ventola di prova aveva dunque una larghezza di 0,50 m, e consentiva una ritenuta di 0,278 m sulla soglia. La portata prescritta per la ventola di prova era quindi $\frac{Q}{18^{5/2}} = \frac{225000}{1375} = 164$ l/sec, essendo di 225 m³/sec la portata per ogni luce di 9 m di larghezza per 5 m di ritenuta, dell'impianto di Ermal.

Si omettono tutte le considerazioni di carattere idraulico, rimandando per esse anche ad altre fonti (1).

In fig. 1 è rappresentato il profilo adottato, sul quale per le diverse posizioni della ventola si rileva l'andamento delle pressioni, mentre la fig. 2 sintetizza in grafici i valori delle grandezze fondamentali — coppia, spinta, portata, ecc. — relative al predetto profilo.

Dal punto di vista costruttivo si può rapidamente osservare che le ventole sono costituite da una inteleiatura metallica, fissata ad una trave disposta inferiormente e portante i perni laterali di rotazione. La intelaiatura è coperta superiormente da un mantello in lamiera, disposto a semicerchio attorno alla trave di sostegno. La fig. 3 mostra una vista della paratoia.

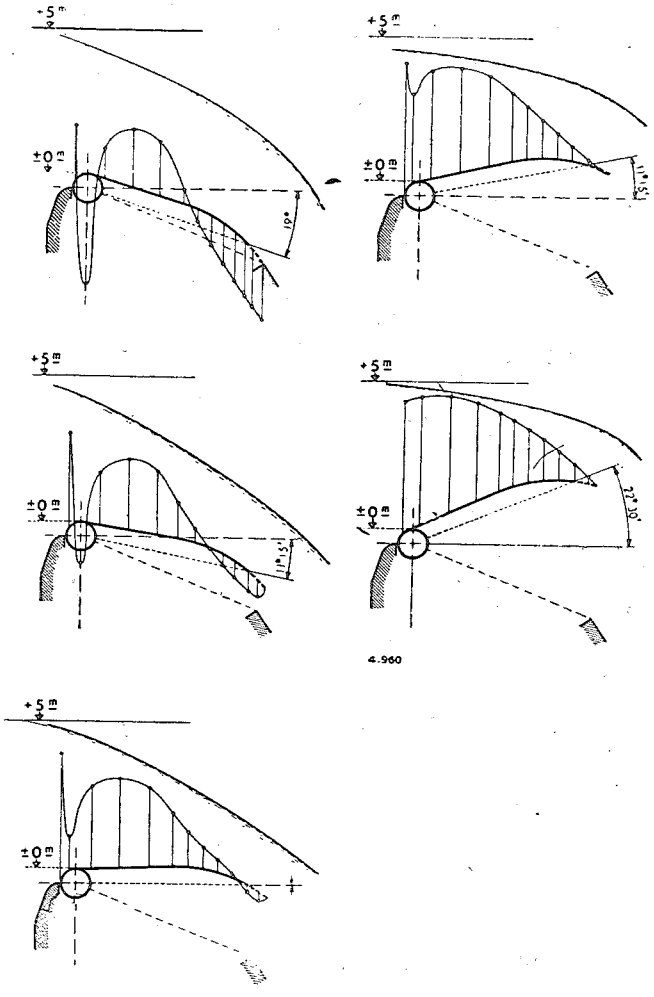

Fig. 1. — Pressioni sul mantello per differenti posizioni della ventola.

Nel caso dello sbarramento di Verbois lo smaltimento delle piene e la regolazione del livello di ritenuta sono affidati a 4 paratoie a ventola, previste ciascuna per una luce di 14 m di larghezza, per 4,15 m di ritenuta, ed anche qui, il profilo adottato è stato desunto dai risultati delle prove di cui sopra. Data poi la necessità di tener conto delle basse temperature invernali, e di combattere quindi il gelo, tanto le pareti laterali su cui scorrono i lamierini di tenuta, fissati ai fianchi della ventola, quanto la zona della soglia, sono muniti di corpi scaldabili elettricamente. La pratica di esercizio ha dimostrato essere sufficiente una potenza complessiva di 42 kW, per avere una temperatura atta ad evitare ogni rischio del gelo della zona.

Un'altra parte notevole della trattazione del Wenger è costituita dal sistema di comando automatico: esso è basato sullo stesso principio della regolazione della velocità dei gruppi idroelettrici, e comprende analogamente un asservimento, che qui è interposto fra il pistone di comando della ventola ed il suo cassetto di distribuzione. Le figg. 4 e 5 riportano gli schemi di

(1) A. STUCKY: *L'évacuateur de crues du barrage d'Ermal.* (Bulletin Technique de La Suisse Romande, 1940, n. 3 e 4). Di questo una chiara nota esemplificativa è riportata ne « L'Energia Elettrica », luglio 1940, pagg. 442-443.

regolazione di una turbina e di una paratoia: si rileva il parallelismo fra i due schemi (2) e la chiara comprensione del funzionamento.

Il problema che si pone è infatti quello di realizzare una fine regolazione, cioè ottenere la minima escursione possibile del livello di ritenuta, variando l'efflusso attraverso la luce fra zero ed il massimo; ma d'altra parte perchè si abbia una sicura azione del galleggiante occorre che l'escursione di questo sia sensibile. La Charmilles ha risolto il problema ricorrendo ad un dispositivo amplificatore dell'escursione del galleggiante, con sversatori differenziali, come indicato nella fig. 6. Infatti se b_1 e b_2 sono le larghezze di due stramazzi ed h_1, h_2 le altezze delle lame d'acqua corrispondenti, si può fare in modo che h_2, che fornisce appunto la variazione del livello nell'ultimo serbatoio in cui si adagia il galleggiante, abbia il valore desiderato. Tale valore è espresso da $h_2 = h_1 \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{2/3}$, come si ricava facilmente dall'eguaglianza delle portate dei due stramazzi. In pratica si adotta per esempio un rapporto b_1/b_2 tale che a qualche centimetro di variazione all'origine, corrisponda una variazione finale di 25÷30 cm. Per evitare poi ogni influenza dell'azione della corrente, il galleggiante pescherà in una vasca in derivazione, in modo che la superficie liquida in questa, risulti perfettamente calma.

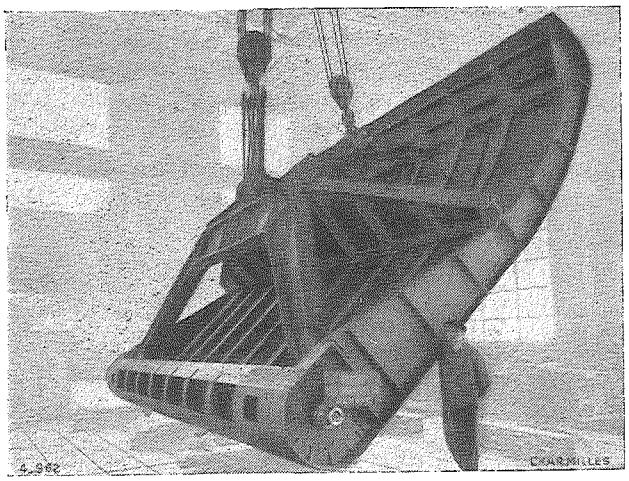

Fig. 3. — Vista di una ventola dell'impianto di Ermal in montaggio.

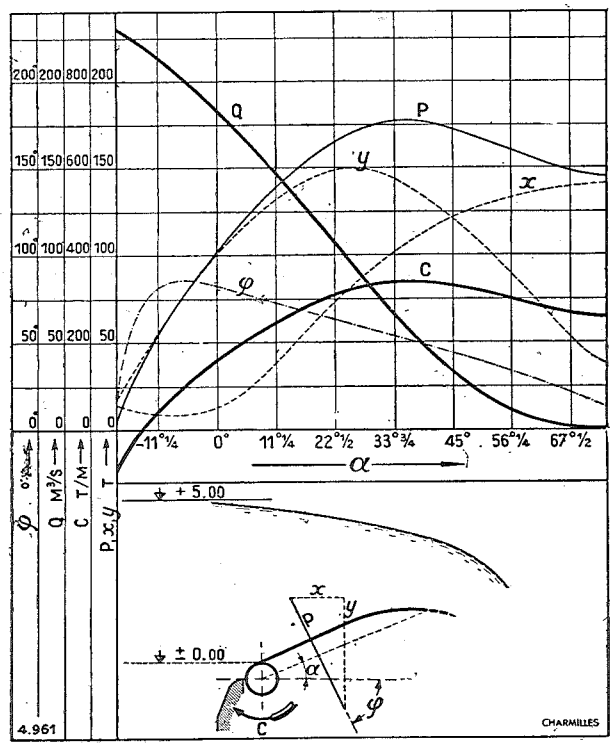

Fig. 2. — Curve caratteristiche del profilo adottato. (La freccia indica il senso positivo per la valutazione della coppia).

C, coppia – *P*, spinta – *Q*, portata – *x*, *y*, componenti delle spinta *P* – *α*, angolo d'inclinazione della ventola – *φ*, angolo della spinta *P*.

La realizzazione pratica della regolazione dell'impianto di Ermal è tradotta nello schema di cui a fig. 7, che corrisponde a quello già citato di fig. 5. L'olio in pressione è normalmente fornito da una pompa ad ingranaggi, azionata da una piccolissima Pelton utilizzante il salto dovuto all'altezza di ritenuta; è inoltre prevista una elettropompa di soccorso, ed il comando è unico per le due paratoie. La pompa eroga in un accumulatore a peso, e funziona quindi ad intermittenza ed automaticamente, quando il livello nell'accumulatore si abbassa, ciò che, oltre a verificarsi durante il funzionamento delle paratoie, si ha anche per effetto delle perdite inevitabili di olio, nel sistema.

L'olio dall'accumulatore arriva ai cilindri, previsti uno per ogni paratoia: in essi scorre un pistone collegato ad una robusta biella articolata alla ventola.

Nel caso dell'impianto di Verbois si hanno, come detto, paratoie in cresta, del tipo a ventola, per la regolazione del livello di ritenuta. Si ha inoltre una serie di paratoie a settore, inferiormente, per lo scarico di fondo; la fig. 8 ne mostra la disposizione in una sezione trasversale dello sbarramento. In questo caso, dato: le notevoli dimensioni delle luci (di 14 × 4,15 m), che dal punto di vista costruttivo portano alla necessità di

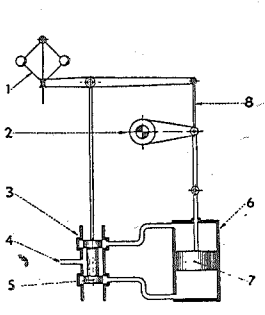

Fig. 4.

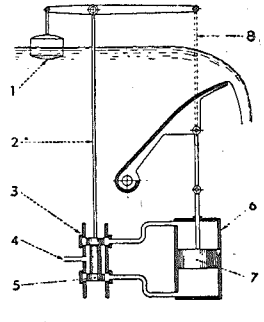

Fig. 5.

Fig. 4. — Schema regolazione tachimetrica indiretta, con asservimento.

1, tachimetro – 2, comando otturatore – 3, distributore regolatore – 4, arrivo olio – 5, cassetto distributore – 6, servomotore di comando – 7, pistone per detto – 8, asservimento.

Fig. 5. — Schema regolazione di una ventola in funzione del livello a monte.

1, galleggiante – 2, ventola – 3, distributore – 4, arrivo olio – 5, cassetto – 6, servomotore di comando – 7, pistone per detto – 8, asservimento.

(2) Tale analogia non è nuova. Essa è stata rilevata da tempo, sia pure in modo meno rigoroso, attraverso studi di impianti, di progetti e di funzionamento di tali opere. Cfr. ad esempio:

V. RUBBO: *Dighe mobili e paratoie a funzionamento automatico diretto*. (« L'Elettr. », 15 e 25 novembre 1931, n. 32 e 33). Dove era detto fra l'altro: « ... emerge immediato un parallelo fra il gruppo idroelettrico destinato a fornire energia e le paratoie automatiche: *a*) lo specchio liquido del serbatoio può riportarsi al momento d'inerzia del gruppo idroelettrico...; *b*) i dispositivi di asservimento applicati alle paratoie automatiche sono correlativi al compensatore del regolatore...; *c*) la quantità di acqua erogata attraverso le luci libere può rapportarsi alla potenza sviluppata dai gruppi nelle varie condizioni di carico, ecc. ecc. ».

Oggi questi concetti fondamentali vanno affinati e completati con varie altre considerazioni, in parte contenute nello studio di cui sopra.

avere due punti di attacco per le ventole; la quasi sicura disponibilità di energia elettrica; la relativa distanza delle camere dei galleggianti; l'adozione di un comando a mano a distanza, ecc., i progettisti hanno adottato il comando elettrico automatico. Il principio è del resto identico a quello seguito per il caso dell'impianto di Ermal: si tratta di assicurare la messa in marcia del motore nei due sensi e l'arresto dello stesso, in funzione del livello a monte. Lo schema dei comandi è riportato in fig. 9 (3).

Come si rileva dallo studio del Wenger, la camera degli sversatori amplificatori, ricavata al riparo del paramento dello sbarramento, a destra della sala di comando, consente la regolazione del livello di ritenuta

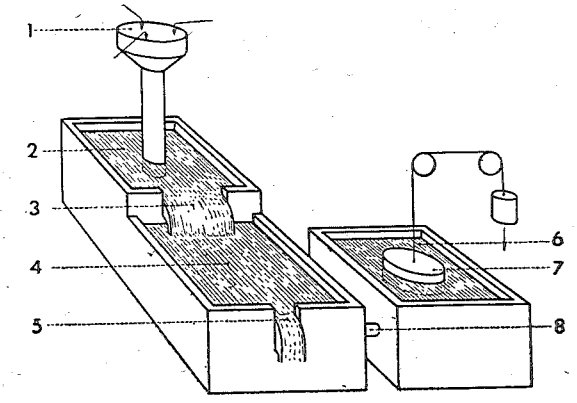

Fig. 6. — Schema di un dispositivo amplificatore a sversatori differenziali.

1-3-5, sversatori superficiali – 2-4-6, bacini di arrivo e di calma – 7, galleggiante

a quota variabile a volontà, e ciò per la necessità di osservare una prefissata quota di restituzione di una centrale di monte.

Tale esigenza è soddisfatta rendendo mobile nel senso verticale il dispositivo relativo allo sversatore principale, in modo che la posizione della cresta di tale sversatore corrisponda al livello stabilito per la ritenuta.

Il funzionamento è semplice, e si elenca qui la serie delle manovre che si susseguono, come sono citate dall'A: si rileva (fig. 9), che il reostato di manovra del motore di comando di una ventola, è posto sotto il con-

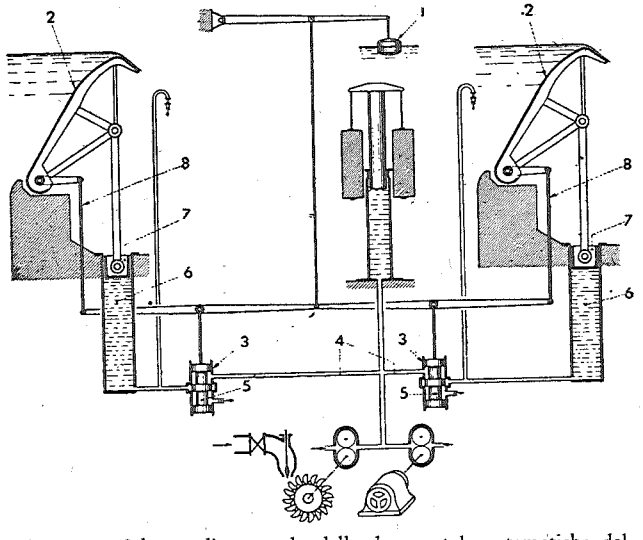

Fig. 7. — Schema di comando delle due ventole automatiche dell'impianto di Ermal. (I numeri sono corrispondenti a quelli dello schema di figura 5).

(3) Per altri ragguagli, specie sulla parte elettrica, consultisi il « Bulletin Sécheron », n. 15 F del 1944. Esso è dedicato al macchinario elettrico costruito dagli Ateliers de Sécheron, per l'impianto di Verbois.

trollo di un rivelatore polarizzato (5), inserito al centro di un ponte di Wheatstone; due dei quattro bracci del ponte sono costituiti da due resistenze fisse, un altro

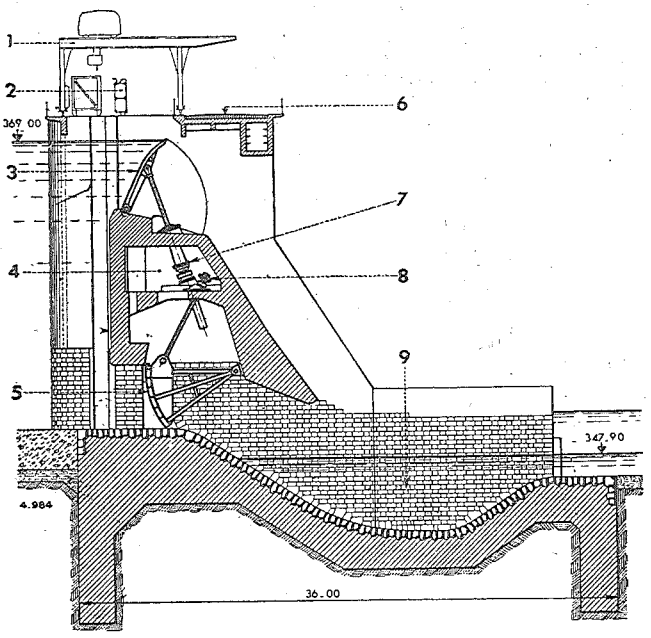

Fig. 8. — Sezione trasversale dello sbarramento di Verbois.

1, grue a portico – 2, elementi di ture – 3, ventola automatica – 4, camera degli argani – 5, paratoia scarico di fondo – 6, strada di attraversamento – 7, argano comando ventola – 8, argano comando paratoia di fondo – 9, bacino smorzatore.

comporta il potenziometro di comando (4), il cui cursore è azionato dal galleggiante (3), e sul quarto braccio infine è inserito il potenziometro di asservimento (6), il cui cursore è azionato dalla ventola (7). Ciò premesso, non appena il cursore, trascinato dal galleggiante, si sposta, si interrompe l'equilibrio del ponte e la corrente che attraversa il rivelatore polarizzato agisce sul contattore del motore di comando degli argani, e quindi della ventola, e ciò provoca il movimento della paratoia nel senso inverso alla variazione del li-

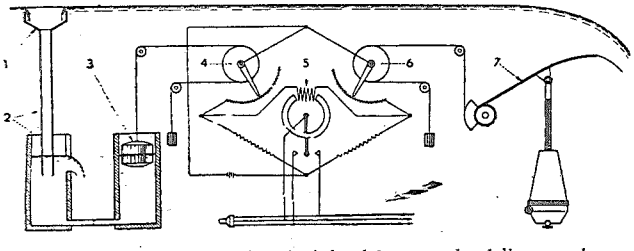

Fig. 9. — Schema di principio del comando delle ventole di Verbois.

1, sversatore mobile – 2, sversatore differenziale (schema semplificato) – 3, galleggiante – 4, potenziometro di comando – 5, rivelatore polarizzato – 6, potenziometro di asservimento – 7, ventola.

vello di ritenuta. Interviene ora l'asservimento, nel senso che la ventola, agendo sul cursore del potenziometro, detto appunto di asservimento, raggiunta una posizione ben determinata per un certo spostamento del galleggiante determina un nuovo equilibrio del ponte, ed il motore di comando della ventola si arresta.

Il sistema è munito di opportuni comandi di riserva: a distanza, a mano, mediante pulsanti; e sul posto, con manovra direttamente a mano degli argani.

Interessanti si presentano gli indicatori di posizione delle ventole, realizzati sul quadro di comando, da cui si rileva altresì la quota di ritenuta che si stabilisce in ogni istante. *Ru.*

Associazione Elettrotecnica Italiana

Posta sotto l'alto Patronato del Consiglio Nazionale delle Ricerche. - Eretta in Ente Morale il 3 Febbraio 1910

VERBALE DEL CONSIGLIO GENERALE

Milano - 18 Aprile 1947

ORDINE DEL GIORNO

1. - Lettura ed approvazione del verbale precedente.
2. - Comunicazioni della Presidenza.
3. - Elezione del *Segretario* e del *Vice Segretario Generali* in sostituzione del prof. Barbagelata e del prof. Correggiari, rieleggibili) e del *Tesoriere Generale* (in sostituzione dell'ing. Rigatti, non rieleggibile).
4. - Andamento dell'Associazione - Regolamento - Sede dell'U. C. - Costituzione della Sottosezione di Brescia.
5. - Pubblicazioni sociali.
6. - Riunione annuale - Celebrazione Cinquantenario Associazione - Congresso Marconiano.
7. - Premi e diplomi di benemerenza; nomina Giuria premi Jona, Bianchi e Righi.
8. - Comitato Elettrotecnico Italiano.
9. - Bilancio consuntivo 1946.
10. - Eventuali.

La seduta si apre alle ore 10.

Sono presenti il Presidente Generale *Selmo*; l'ex Presidente Generale *Vallauri*; i Vice Presidenti Generali *Corbellini* e *Semenza*; il Segretario Generale *Barbagelata*; il Vice Segretario Generale *Correggiari*; il Tesoriere Generale *Rigatti*; il Segretario della Presidenza *Perrone*; il Vice Direttore *Redaelli*; il Redattore Capo de « L'Elettrotecnica » *San Nicolò*. I Consiglieri Delegati per le Sezioni:

Adriatica: *Vissani*.
Bologna: *Basile*, Presidente; *Bertazzoni*, *Stracuzzi*.
Firenze: *D'Arbela*, *Francini*.
Genova: *Bonaria* in rappresentanza del Presidente *Calosi*; *Rossi*.
Milano: *Tedeschi*, Presidente; *Dalla Casa*, *De Pol*, *Peterlongo*.
Napoli: *Borriello*.
Torino: *Andreoni*, Presidente; *Boella*, *Dalla Verde*, *Soleri*.
Trento: *Montagni*.
Veneta: *Tonini*, in rappresentanza anche del Presidente *De Fassi*.

Hanno scusato la loro assenza il Vice Presidente Generale *Masturzo*; il Presidente della Sezione Veneta *De Fassi*; ed i Consiglieri Delegati: *Cafaro*, *Faletti*.

Non sono rappresentate le Sezioni: Catania, Palermo, Pugliese, Roma, Sarda, Trieste.

Presiede, la seduta, il Presidente Generale *Selmo* coi Vice Presidenti Generali *Corbellini* e *Semenza* ed il Segretario Generale *Barbagelata*.

1. - Verbale seduta precedente.

Il *Presidente*, rivolto un saluto agli intevenuti, ricorda che i verbali da leggere sarebbero tre: quello del 13 ottobre 1946 (seduta ordinaria), quello del 16 ottobre (seduta straordinaria per l'approvazione della proposta di Statuto) e quello del 20 dicembre 1946 (seduta straordinaria per la designazione dei candidati alla Presidenza Generale). Solo il primo contiene notizie che sarebbe utile ricordare. Su parere conforme del Consiglio, il *Presidente* prega il Segretario di riassumere il primo verbale che viene approvato senza discussione.

2. - Comunicazioni della Presidenza.

Il *Presidente* ricorda innanzi tutto i Colleghi scomparsi (tutti si alzano). Essi sono:

Sezione di Bologna: Carboncini dott. Guglielmo; Puppini prof. gr. cr. Umberto.

Sezione di Genova: Balsamo ing. comm. Natale (benemerito); Corini ing. prof. Felice; Giuffrida Salvatore; Queirolo ing. Rinaldo.

Sezione di Milano: Albertini Guido; Annigoni Ricciardo; Campetti prof. Adolfo; Carreri Antonio; Del Puglia ing. Antonio; Donegani ing. Guido; Falck ing. Giorgio Enrico (vitalizio benemerito); Fazzari ing. Saverio; Gonzales ing. Tito (vitalizio); Leal ing. Enrico; Malaguti ing. Gaetano; Pavesi prof. rag. Pietro; Semenza ing. Enrico.

Sezione di Roma: Buffa ing. Mario; Fenzi ing. Fenzo; Laget ing. Carlo; La Porta ing. prof. Andrea; Rissi Faustino.

Sezione di Torino: Chiesa ing. gr. uff. Pietro Terenzio; Tocco Enzo; Tommasini Elio.

Sezione di Trento: Costisella Martino.

Il *Presidente* inviando a tutti gli scomparsi un pensiero di rimpianto, ricorda in modo particolare per le attività da essi svolte i Consoci: Puppini, Balsamo, Donegani, Falck, Gonzales e Chiesa.

Dopo un minuto di raccoglimento, passando all'ordine del giorno, il Vice Presidente *Semenza* consegna al nuovo Presidente il distintivo speciale riservato al Presidente Generale. (*Applausi*).

Il *Presidente* ricorda brevemente i risultati dei vari referendum per lo Statuto che dovrà ora essere inviato alle Superiori Autorità per l'approvazione, ed informa di aver chiamato alla carica di Segretario della Presidenza l'ing. C. Perrone.

3. - Elezioni.

Su proposta di un gruppo di soci, vengono confermati per acclamazione, nelle rispettive cariche, i professori Barbagelata e Correggiari, e viene eletto alla carica di Tesoriere Generale, salvo accettazione, l'ing. Mario Gorini. (*Applausi*).

4. - Andamento dell'Associazione.

Il *Presidente* dà notizia del movimento dei soci i quali, dopo l'ultimo Consiglio, sono aumentati a 5163. Informa che l'attività delle Sezioni può ritenersi soddisfacente, essendosi avute nel semestre 53 manifestazioni, di cui ben 22 presso la Sezione di Milano. Purtroppo parecchie Sezioni non hanno dato alcun segno di vita e la cosa è particolarmente dolorosa per le Sezioni di Roma e Veneta, che dovrebbero figurare tra le prime. Dà notizia che la Sezione di Milano ha deciso di costituire una Sottosezione a Brescia, chiamando a fungere da Segretario l'ing. Giuseppe Braga dell'Associazione Industriali.

Il Consiglio ratifica.

Il *Presidente* deve constatare con rincrescimento come l'iniziativa per la costituzione dei gruppi Comunicazioni, presso le Sezioni, non abbia avuto gli sperati sviluppi, quantunque presso talune Sezioni, come Milano e Bologna (dove il Gruppo fu regolarmente costituito), non siano mancate conferenze in argomento, e si augura che i gruppi stessi vengano al più presto regolarmente costituiti in vista anche del Congresso Marconiano del prossimo autunno. (*Consensi*).

Il *Presidente* informa quindi che il *Regolamento* è in preparazione e sarà a suo tempo inviato ai Consiglieri per l'approvazione. Dà notizia della soddisfacente sistemazione che l'U. C. ha potuto da pochi giorni trovare nei nuovi locali.

5. - Pubblicazioni sociali.

Il *Presidente* è lieto di comunicare che il C.N.R. apprezzando altamente l'autorità ed il valore delle nostre riviste, ha deliberato di assegnare all'A.E.I. il sussidio annuo di un milione: di cui 600 mila lire per l'« Alta Frequenza » e 400 000 per « L'Elettrotecnica ». Il C.N.R. pone però alcune condizioni che sembrano accettabili: patronato, formato, bilanci, ecc.

L'« Alta Frequenza » potrà così continuare le sue pubblicazioni, conservando il carattere di rivista specializzata di alta cultura che l'ha resa tanto apprezzata, specialmente all'estero.

Per « L'Elettrotecnica » è da augurarsi che essa possa quanto prima riprendere l'antico ritmo quindicinale (al quale si oppongono ancora le difficoltà contingenti fra cui lavora la tipografia) o, quanto meno, che essa possa aumentare sensibilmente la mole dei suoi fascicoli mensili, in modo da poter smaltire più rapidamente il materiale che ad essa perviene con notevole abbondanza, e da poter far più largo posto a quegli articoli monografici di messa

a punto di cui da molte parti si continua a manifestare il desiderio. Fra questi dovrebbero figurare più frequentemente articoli riflettenti le comunicazioni con e senza fili, i quali per il loro carattere monografico, meno bene potrebbero trovar posto nell'« Alta Frequenza ».

In considerazione a questi auspicati sviluppi de « L'Elettrotecnica », la Presidenza ha ritenuto necessario allargare alquanto il Comitato di Redazione, chiamando a farne parte il prof. Rinaldo Sartori di Milano e il prof. Agostino Dalla Verde di Torino. (*Il Consiglio approva*).

Tale ampliamento della Redazione appare giustificato dal fatto che due degli attuali benemeriti suoi componenti, i prof. Neri e Silva, risiedendo a Roma, hanno oggi minori possibilità che in passato, di frequenti contatti col Redattore Capo prof. San Nicolò, il quale invece potrà in caso d'urgenza essere confortato dal parere dei due nuovi Redattori residenti nell'Alta Italia.

La Presidenza ha anche ritenuto necessario aumentare sensibilmente i modestissimi compensi fin qui riservati agli autori di articoli ed ai collaboratori della rivista, in modo che la Redazione possa dare incarico a persone particolarmente competenti di preparare qualche articolo monografico su tema assegnato.

Il *Presidente* accenna quindi ai problemi delle recensioni a cui oggi lavorano vari Enti pubblici e privati con inutili doppioni e sperpero di energie, mentre sarebbe desiderabile poter riunire tutte le forze per dar vita ad un'unica pubblicazione riassuntiva e ben fatta.

Aperta la discussione, *Tonini* (Sez. Veneta) rende noto che già l'ex Centro Volpi, la S.A.D.E. e la Giunta Tecnica della Società Edison hanno preso accordi per fondere le loro iniziative. *Vallauri* si rammarica che si sia dimenticata l'A.E.I., mentre le recensioni pubblicate su « L'Elettrotecnica » sono indubbiamente le meglio fatte, e pure auspicando un miglior assetto generale del problema, raccomanda che la pubblicazione delle recensioni su « L'Elettrotecnica » venga continuata.

D'Arbela vorrebbe che il lavoro delle recensioni fosse suddiviso fra i vari Enti per argomento, in modo che i recensori fossero veramente competenti nel settore di cui si occupano. I vari Enti potrebbero poi scambiarsi le proprie recensioni. *Semenza* ricorda come le recensioni migliori siano sempre quelle di *Science Abstracts*, e ritiene che in ogni caso l'iniziativa dovrebbe far capo all'A.E.I.

Selmo, riassumendo la discussione, precisa che non si pensa di rinunciare alle recensioni de « L'Elettrotecnica » fino a che non sia sorto qualche cosa di meglio, e chiede solo se si debba far opera per arrivare ad una intesa e ad una unificazione fra i vari Enti interessati.

Il Consiglio approva.

Passando ad altre pubblicazoni sociali il Presidente informa che la stampa dei *Rendiconti* della XLVII Riunione annuale è a buon punto, cosicchè si spera di poter iniziare abbastanza presto le spedizioni dei 4 fascicoli ai colleghi che ne fecero tempestiva prenotazione. Rimarranno disponibili ancora un centinaio di copie che potranno essere messe in vendita a L. 3000 per i non soci ed a L. 2000 per i soci.

È anche a buon punto la preparazione dell'*Annuario* che non si pubblicava più dal 1941 e che si spera di poter distribuire entro l'anno, insieme col *Repertorio Elettrotecnico*.

Il Presidente informa inoltre che non è da escludersi la possibilità di riprendere l'iniziativa per l'*Enciclopedia Elettrotecnica*, troncata al suo sorgere dallo scoppio della guerra. Non è infatti da escludere che il C.N.R. possa concedere il suo valido appoggio all'iniziativa stessa.

6. - Riunione Annuale.

In considerazione della particolare importanza che dovrà assumere quest'anno la Riunione annuale per la coincidenza del cinquantenario dell'A.E.I., del centenario della nascita e del cinquantenario della morte di Galileo Ferraris, nonchè per la celebrazione Marconiana, la Presidenza non appena eletta ha creduto necessario di prendere alcune decisioni che ora sottopone alla ratifica del Consiglio. Basandosi anche su quanto si era detto nelle riunioni dello scorso ottobre, la Presidenza avrebbe infatti deciso di tenere la XLVIII Riunione annuale a Torino, verso la fine di settembre, immediatamente prima del Congresso internazionale Marconiano, che sotto gli auspici del C.N.R. si terrà a Roma dal 28 settembre al 5 ottobre.

Come tema per il nostro Congresso la Presidenza avrebbe pensato alla « *Produzione dell'energia elettrica* », considerato sotto i suoi vari aspetti ed ha già predisposto un programma organico in modo da poter subito — se il Consiglio sarà d'accordo — procedere alla scelta dei relatori ed alla organizzazione di dettaglio. Quanto alla Sezione « Comunicazioni » si penserebbe che essa potrebbe trasferirsi al Congresso Marconiano (previe le opportune intese col C.N.R.) in modo che tale congresso risulterebbe in un certo senso concatenato con la nostra Riunione. Il problema di trasferire a Roma subito dopo la nostra Riunione, la Presidenza ed una parte dei congressisti non pare di difficile soluzione.

In tema di congressi conviene ricordare che in settembre dovrebbe probabilmente tenersi a Milano, per iniziativa dell'A.N.I.E. e della Edison, un congresso di illuminazione e di acustica in occasione del Centenario di Edison. E pure in settembre vi sarà a Zurigo la riunione di alcuni Comitati di Studio della Commissione Elettrotecnica Internazionale, alla quale un certo numero di nostri colleghi dovrà partecipare.

Aperta la discussione, *Vallauri* approva le iniziative della Presidenza ed informa che l'I.E.N.G.F. ha deciso di indire in settembre, una delle sue *Settimane di studio*, dedicandola, in onore di G. Ferraris, alla macchina ad induzione. Propone che nella Riunione dell'A.E.I., una giornata od una seduta sia riservata allo stesso argomento. *Semenza* teme che il programma tracciato dalla Presidenza sia troppo vasto e preferirebbe restringere il tema del Congresso ad un solo capitolo. *Selmo* spiega che il sommario, più che programma, predisposto è un semplice indice di argomenti che possono essere oggetto di discussione. *Barbagelata* aggiunge che per ogni capitolo dovrebbe esserci una sola relazione riassuntiva di aggiornamento, mentre gli argomenti secondari sarebbero lasciati ai contributi spontanei che mai non mancano. *Rossi* vorrebbe che, date le odierne condizioni, si desse il più ampio sviluppo alle centrali termiche.

Soleri chiede notizie sul tema per la Sezione Comunicazioni. *Barbagelata* informa che nulla si è ancora deciso dovendosi prendere accordi col Congresso Marconiano.

A conclusione il Consiglio approva il programma di massima tracciato dalla Presidenza e la Presidenza si impegna di tener conto, nei limiti del possibile, delle varie tendenze, pur facendo presente che la ristrettezza del tempo a disposizione costituisce un elemento sfavorevole all'organizzazione della Riunione.

7. - Premi e diplomi di benemerenza.

In conformità a quanto deliberato in precedenti sedute, si è stabilito di riprendere con quest'anno l'assegnazione dei premi Jona, Bianchi e Righi, sospesi il primo dal 1937, e gli altri due dal 1939. Tenuto conto dei fondi in realtà oggi assai modesti, accantonati in questi anni di sospensione, sarebbe possibile assegnare ancora per questa volta le previste medaglie d'oro, però con un apprezzabile aggravio per l'A.E.I.; ma in futuro si dovrà necessariamente accontentarsi di medaglie di vermeil accompagnate da un diploma. Nella seduta del settembre 1945 il Consiglio ha respinto l'idea di raccogliere per sottoscrizione i fondi necessari per poter continuare ad assegnare medaglie d'oro. Pertanto è necessario che il Consiglio approvi di modificare i Regolamenti dei tre premi, sostituendo alle parole « una medaglia d'oro », le parole « una medaglia ed un diploma ».

Il Consiglio approva.

Il Consiglio deve inoltre procedere oggi alla nomina della Giuria — comune — per i premi Jona e Bianchi ed a quella dei due membri A.E.I. della Giuria per il premio Righi. Per la Giuria dei premi Jona e Bianchi la Presidenza proporrebbe i nomi dei colleghi: Bottani, Emanueli, Lombardi, Vallauri, Vecchiacchi.

Per il premio Righi i nomi dei colleghi: Bordoni, Perucca.

La Presidenza chiederà al C.N.R. ed alla Soc. Italiana di Fisica di nominare gli altri due membri.

Le due Giurie dovranno presentare le loro conclusioni entro l'agosto, in modo che i premi possano essere assegnati in occasione della Riunione di settembre.

Il Consiglio approva.

Data la ricorrenza del Cinquantenario della A.E.I. si sarebbe pensato di dare ad essa rilievo con l'istituzione e la prima assegnazione di speciali diplomi di benemerenza a quei consoci che — come previsto dall'art. 13 dello Statuto — abbiano largamente contribuito con la loro opera

allo sviluppo dell'A.E.I. Vi sono in quasi tutte le Sezioni dell'A.E.I. dei colleghi che, o come Segretari o anche come Cassieri, pur rimanendo nell'ombra, sono stati di fatto gli elementi coordinatori delle rispettive Sezioni, assicurandone la continuità.

Per non lasciare completamente all'arbitrio della Presidenza o del Consiglio, la scelta dei consoci meritevoli del diploma, si sarebbe pensato di stabilire come condizione che il socio da dichiarare benemerito, debba per almeno tre trienni, aver ricoperto cariche od assunto mansioni gratuite presso l'A.E.I.

Il Consiglio approva.

8. - Comitato Elettrotecnico Italiano.

Il *Presidente* prega il prof. Barbagelata, nella sua qualità di Presidente del C.E.I., di riferire al Consiglio. *Barbagelata* ricorda che, come fu già pubblicato su « L'Elettrotecnica », il Consiglio del ricostituito C.E.I. si è riunito la prima volta il 6 dicembre u. s. In una seconda riunione tenuta il 26 febbraio u. s., il Consiglio ha approvato definitivamente il nuovo Statuto dell'Ente, fissandone le direttive, nonchè l'entità della quota di associazione. La regolare ricostituzione dei vari Sottocomitati non è però ancora del tutto definita a motivo del grande ritardo con cui alcuni Enti hanno risposto all'invito di designare i loro rappresentanti. Tuttavia il lavoro è prossimo alla fine ed è da augurarsi che, fra qualche settimana, i vari Sottocomitati siano in condizioni da riprendere i loro lavori. *Barbagelata* ricorda in proposito l'importanza e l'entità di tali lavori dopo il lungo periodo di stasi più o meno completa, e si augura che, con la buona volontà di tutti i suoi membri il nostro C.E.I. possa rapidamente ricuperare il tempo perduto. (*Consensi*).

9. - Bilanci.

Il Consuntivo 1946 è stato distribuito ai presenti. Il *Presidente* invita l'ing. Redaelli a leggere le relazioni della Presidenza al Consiglio e quella dei Revisori dei conti, che vengono inserite agli atti col bilancio.

Dopo alcuni chiarimenti del Presidente, nessuno chiedendo la parola, il Presidente mette ai voti il Consuntivo 1946, che viene approvato all'unanimità.

10. - Eventuali.

Il *Presidente* chiede se alcuno dei presenti ha osservazioni o proposte da avanzare. Nessuno chiedendo la parola, il *Presidente* ringrazia gli intervenuti e toglie la seduta. (*Applausi*).

Il Segretario Generale — A. BARBAGELATA

Il Presidente Generale — L. SELMO

L'ORGANIZZAZIONE DELLA XLVIII RIUNIONE ANNUALE

Milano, 16 maggio 1947.

È ormai in pieno sviluppo la preparazione della prossima riunione dell'A.E.I. che si terrà, come abbiamo già annunciato, a Torino dal 21 al 28 settembre.

Sebbene non sia ancora possibile pubblicare un vero e proprio programma tecnico, tuttavia l'inquadratura dei futuri lavori è già delineata.

Come è noto, il tema prescelto è quello della produzione della energia elettrica, da considerare però, non nei singoli particolari della costruzione degli impianti, ma sotto un punto di vista generale di aggiornamento dei progressi di questo vasto campo della tecnica e degli aspetti che il problema della produzione dell'energia assume nei confronti delle risorse e dei fabbisogni del nostro Paese, in questo momento e nel prossimo avvenire.

A impostare tale orientamento dei lavori saranno dedicate alcune relazioni di carattere, per così dire, ufficiale, per le quali la Presidenza ha già impegnato i rispettivi relatori scelti fra i migliori competenti dei singoli argomenti.

Avremo così anzitutto una relazione di carattere generale e, per così dire, statistico, sulla situazione attuale e le prospettive future della produzione di energia elettrica in Italia, e sui necessari coordinamenti fra le varie fonti disponibili e fra la producibilità ed i consumi.

Altre relazioni avranno invece carattere più strettamente tecnico e costruttivo e riguarderanno i progressi compiuti negli ultimi anni nella concezione e nella costruzione, rispettivamente delle centrali idroelettriche, a vapore, con motori a combustione interna o con turbine a gas, nella utilizzazione delle energie geotermiche o eoliche, ecc., non trascurando naturalmente le modernissime prospettive offerte dall'impiego della energia atomica.

Una seduta del Congresso, conglobando anche analoga iniziativa dell'INEGE di Torino, dovrà poi essere dedicata alle onoranze alla memoria di Galileo Ferraris e si pensa, a tale proposito, a qualche relazione su le macchine a induzione in generale e su quelle speciali.

Al solito, vi sarà anche una Sezione del congresso dedicata alle comunicazioni. Essa assumerà quest'anno un carattere speciale perchè dovrà svolgersi in correlazione con la grande celebrazione Marconiana di Roma dove, come abbiamo già annunciato, dovrebbero trasferirsi i congressisti riuniti a Torino, dopo ultimati i lavori della Sezione delle correnti forti. Il programma per la seconda Sezione è ancora in elaborazione e di esso daremo prossimamente notizia.

Abbiamo accennato alle relazioni fondamentali, di carattere ufficiale. Ma esse naturalmente non saranno le sole. Tutti i colleghi che vogliano trattare argomenti speciali, purchè non troppo di dettaglio e purchè aventi attinenza diretta col tema stabilito per i lavori, sono invitati, come sempre si è fatto, a inviare i loro contributi che, se accolti, verranno posti in discussione e pubblicati nei Rendiconti.

La ristrettezza del tempo disponibile e anche le difficili condizioni finanziarie e le altissime tariffe tipografiche, hanno indotto quest'anno ad adottare, a tale riguardo, una organizzazione alquanto diversa del solito.

Non sarebbe infatti oramai possibile arrivare in tempo a stampare e distribuire preventivamente le relazioni e le memorie che perverranno. Di conseguenza, tutti gli autori che intendono inviare contributi al Congresso, sono invitati a mandare contemporaneamente (meglio ancora, se con qualche anticipo) un denso ed efficace riassunto del loro lavoro. Tali riassunti non dovranno assolutamente superare due pagine dattilografate e solo in via eccezionale, quando sia indispensabile per la esatta comprensione del testo, potranno essere accompagnati da qualche figura. Ai congressisti verrà distribuita, prima della riunione, soltanto la raccolta dei riassunti i quali perciò dovranno essere compilati in modo da poter servire ad impostare le discussioni.

Quanto ai Rendiconti essi verranno stampati e distribuiti dopo il Congresso, insieme ai resoconti delle discussioni, raccolti in un volume già rilegato che sarà posto in vendita ad un prezzo da stabilizzarsi e in ogni modo con un forte sconto per tutti coloro che si saranno prenotati entro un certo termine che verrà stabilito a suo tempo. In questo modo si eviterà anche l'inconveniente, che si manifestava frequentemente negli scorsi anni, dello smarrimento da parte di qualche congressista di una o più relazioni, distribuite sciolte, che non era più possibile sostituire data la tiratura necessariamente limitata.

L'elevatissimo costo della stampa impone inoltre quest'anno la necessità di contenere la mole dei Rendiconti quanto più possibile. La Presidenza ha quindi stabilito che nessun contributo al Congresso, fatta eccezione per le relazioni ufficiali, possa superare le 4 pagine a stampa (circa 20 pagine dattilografate) in formato come quello del giornale, ivi comprese le eventuali figure, a meno che l'autore non si assuma in proprio la spesa corrispondente alla parte del suo lavoro eccedente i limiti fissati.

Questa restrizione è spiacevole, certamente, ma chiunque sia al corrente di che cosa significhi oggi procedere alla pubblicazione di un'opera a stampa, non potrà non comprendere ed approvare le disposizioni prese dalla Presidenza. Del resto in quattro pagine di stampa, del formato dei Rendiconti, si possono dire molte cose, se ci si limita a quelle essenziali; e d'altra parte non sarà certamente male se i nostri autori si abitueranno un poco, così, a limare i loro lavori, a esprimersi con quella concisione che non nuoce, ma spesso anzi giova, alla chiarezza e che, senza dubbio, invita maggiormente alla lettura!

Invitiamo dunque tutti i Soci competenti a collaborare volonterosamente alla buona riuscita dei lavori del Congresso. Ma tengano presente tutti che il tempo stringe e che bisogna quindi mettersi subito all'opera. Sarebbe assai bene che ogni autore segnalasse fin da ora gli argomenti che intende trattare, cosicchè sia possibile coordinare i diversi contributi ed evitare doppioni e ripetizioni.

Anche i riassunti dovrebbero essere fatti pervenire all'Ufficio Centrale dell'A.E.I. con grande sollecitudine, perchè sia possibile provvedere in tempo utile alla loro riproduzione e distribuzione.

I testi definitivi potranno invece essere mandati con qualche maggiore ritardo ma in ogni modo alquanto prima della data del Congresso.

Mentre incitiamo dunque tutti a mettersi alacremente al lavoro, ci riserviamo di comunicare in seguito notizie più precise sul programma e sull'organizzazione generale della riunione.

NOTIZIE DELLE SEZIONI

SEZIONE DI BOLOGNA

Il 7 gennaio 1947 ha avuto luogo in un'aula dell'Istituto di Matematica dell'Università una riunione, cui è intervenuto il **prof. ing. Ercole Bottani,** Commissario per l'energia elettrica per l'Alta Italia, il quale ha tenuta una conversazione sul tema: « **La situazione dell'energia elettrica nel nostro Paese** ».

Il Presidente, prof. Basile, ha aperto la riunione, presentando con brevi parole il prof. Bottani. Accolto con un caldo applauso dall'uditorio numerosissimo che affollava l'aula, l'oratore ha quindi preso a parlare.

Il prof. Bottani ha chiaramente ed esaurientemente esposto l'attuale situazione dell'energia elettrica in Italia, illustrando le cause della scarsa disponibilità di tale energia ed i criteri sui quali sono basate le norme restrittive del suo consumo ed additando i provvedimenti mercè i quali sarebbe possibile ovviare al gravissimo inconveniente che paralizza l'industria ed ogni altra forma di attività nel Paese.

L'uditorio ha seguito con grandissimo interesse la brillante conversazione del prof. Bottani. Si è poi aperta la discussione, molto animata, alla quale hanno preso parte, fra gli altri, l'ing. Maudente, Presidente dell'Associazione industriali di Bologna, l'ing. Fornaciari, della S.E.E.E., l'ing. Anau della S. A. Calzoni, il perito Vacchi della S.A.B.I.E.M., il prof. ing. Jachino, il dott. Amadori.

Dopo che il prof. Bottani ebbe risposto a tutti i quesiti postigli dagli interlocutori, nessuno più chiedendo la parola, il Presidente chiuse la Riunione.

*

Il 26 gennaio 1947 si è svolta una gita a Firenze per la **visita alle Officine Galileo** di quella città, con l'intervento di numerosi soci accompagnati da signore e signorine (circa 120 gitanti), nonostante l'eccezionale inclemenza del tempo.

Il viaggio è stato effettuato con treno speciale, partendo da Bologna alle 7,15 e giungendo a Firenze-Rifredi solamente a mezzogiorno circa, causa le difficoltà di transito per l'abbondante nevicata. Alla stazione di Firenze-Rifredi erano ad attendere il treno il Presidente della Sezione di Firenze della A.E.I., ing. Mariani, insieme a numerosi soci di quella Sezione, e l'ing. Martinez, Direttore delle Officine Galileo, accompagnato da funzionari e dirigenti delle officine stesse.

In attesa della colazione, gentilmente offerta dalle Officine Galileo, i gitanti, cui si era unito un folto gruppo di soci della Sezione di Firenze, anch'essi accompagnati da signore e signorine, hanno iniziato la visita degli stabilimenti, sotto la cortese e competente guida di tecnici e dirigenti delle officine. La visita, che è proseguita nel pomeriggio dopo la colazione, ha destato vivissimo interesse nei convenuti, che hanno potuto ammirare la perfetta organizzazione e la pregevole produzione dei diversi reparti, rendendosi conto della rapidità con cui la Galileo ha saputo passare dalla produzione di guerra alla produzione di pace. Particolare interesse hanno suscitato nei visitatori il reparto ottica, il reparto strumenti elettrici di misura ed i gabinetti di ricerca.

La colazione, che ha riunito i gitanti ed i colleghi della Sezione di Firenze nei locali della Mensa Aziendale delle officine, si è svolta in atmosfera di vivissima cordialità. Un gentile ricordo veniva offerto dalla Sezione di Firenze alle signore intervenute.

Alle frutta, prendeva la parola l'ing. Martinez, il quale rivolgeva un caloroso saluto ai gitanti; successivamente, l'ing. Mariani porgeva agli ospiti il benvenuto dei colleghi della Sezione di Firenze. Rispondeva il prof. Basile, Presidente della Sezione di Bologna della A.E.I., ringraziando a nome di tutti i gitanti bolognesi le Officine Galileo, e l'ing. Martinez in particolare, nonchè il Presidente ed i colleghi della Sezione di Firenze, per la cortese ospitalità, che la Sezione di Bologna si augura di poter presto ricambiare. Prendeva quindi la parola un componente della Commissione di Fabbrica delle Officine Galileo, il quale rivolgeva ai convenuti il saluto delle maestranze degli stabilimenti. Il termine di ciascun discorso è stato sottolineato da vivi applausi.

Al termine della visita, l'ing. Martinez, all'uscita delle Officine, ha salutato gli ospiti. I gitanti sono partiti da Firenze-Rifredi alla volta di Bologna alle 18 circa, salutati alla stazione dall'ing. Mariani e da alcuni colleghi fiorentini. L'arrivo a Bologna si è avuto alle 21,30 circa.

Benchè, per la mancanza di tempo, dato il ritardo del treno, il programma della manifestazione (che comprendeva anche la proiezione di un film presso il Circolo della SELT Valdarno) non abbia potuto essere svolto completamente, la gita ha ottenuto un notevole successo.

* *

SEZIONE DI GENOVA

Il giorno 25 giugno 1946, alle ore 21, in seconda convocazione, si è tenuta nella sede della Sezione, l'**Assemblea Ordinaria dei Soci** della Sezione, con il seguente:

ORDINE DEL GIORNO:

1°) Relazione della Presidenza.
2°) Bilancio Consuntivo 1945 e Preventivo 1946.
3°) Varie ed eventuali.

L'ing. Bonaria, dichiarata aperta la seduta, ricorda i Soci scomparsi in quest'ultimo periodo: l'ing. Arberto Albertazzi, il sig. Emilio Castelli di Savona, il gr. uff. Giovanni Merello, l'ing. Giovanni Giusto di Varazze ed il socio junior Giovanni Bertolazzi.

L'ing. Bonaria espone quindi la seguente relazione:

L'attività della nostra Sezione si è subito avvantaggiata delle migliorate condizioni di vita del nostro Paese conseguenti alla cessazione dello stato di guerra. Le manifestazioni culturali sono state numerose.

Dopo la conferenza dell'ing. Frediani, tenuta lo scorso anno in occasione dell'Assemblea annuale su « I gruppi generatori Ljungstrom », il 18 giugno 1945 parlava il prof. Occhialini sul « Ferromagnetismo »; il 16 novembre l'ing. Manzitti su un problema telefonico.

Il 14 ottobre è stata eseguita la visita alla stazione radiotrasmittente di Granarolo, per cortese invito del Direttore della radio italiana di Genova, ing. Alberico Cerruti.

È stato costituito in seno alla nostra Associazione un gruppo di radiotecnici, il quale ha tenuto negli scorsi mesi riunioni periodiche; in queste riunioni sono stati esaminati diversi argomenti di radiotecnica su relazione di diversi soci. L'ing. Cerruti ha iniziato il ciclo parlando sullo sviluppo della radiotecnica all'estero e sulla situazione della radio italiana.

Altri argomenti sono stati trattati dall'ing. Michele Arduino (Tecnologie ed applicazioni delle valvole termoioniche); dall'ing. Pietro Tiezz (Modulazioni di frequenza); dall'ing. Francesco Frisoni (L'oscillografo a raggi catodici); dall'ing. Gino Montefinale (Normalizzazione del campo televisivo negli Stati Uniti d'America).

In riunioni periodiche dei soci della Sezione sono stati esaminati i problemi tecnici economici delle nostre industrie elettriche.

Sono stati relatori l'ing. Corrado Genesio (Situazione idroelettrica della Liguria); l'ing. Ettore Di Roberto e l'ing. Massimo Merega (L'industria elettromeccanica ligure); l'ing. Ugo Bossi (Gli acquedotti di Genova); l'ing. Giovanni Del Re (Impianti elettrici nella ricostruzione navale).

È in programma una conferenza dell'ing. Gino Montefinale sullo sviluppo della radiotecnica, e una visita ai laghi del Gorzente.

Abbiamo ripreso gli abbonamenti alle riviste tecniche; la nostra Biblioteca si è pure arricchita di altre pubblicazioni. Abbiamo completato la collezione di « Alta Frequenza ».

L'aumento delle quote non ha portato a gravi perdite di

Soci e di questo dobbiamo particolarmente compiacerci e ringraziare i nostri Soci che hanno voluto conservare, pur col maggior sacrificio, l'adesione alla nostra Associazione.

I Soci al 31 dicembre 1945 erano 338, di cui 269 individuali, 38 juniores, 31 collettivi; contro 356 Soci al 31 dicembre 1944.

Oggi i Soci sono 348, di cui la maggior parte ha pagato la quota sociale.

Rinnovo l'invito ai Soci che ancora non hanno provveduto, e sono circa una trentina, a voler fare il versamento prima del 10 luglio per evitare la radiazione come morosi.

Abbiamo rinnovato i nostri accordi colla Società di Letture e Conversazioni Scientifiche dalla cui ospitalità hanno notevoli benefici i Soci della nostra Sezione.

Il Presidente sottopone quindi all'approvazione dell'Assemblea il bilancio Consuntivo 1945 e Preventivo 1946.

I bilanci sono approvati all'unanimità.

Il Presidente comunica infine che è in preparazione il nuovo Statuto della nostra Associazione che anche nella forma rispecchierà i principi democratici che oggi ci reggono, per quanto la nostra Associazione nella pratica abbia sempre corrisposto a questi principii. Alle nuove nostre istituzioni democratiche noi inviamo i più vivi auguri di successo per le fortune del nostro Paese!

Dopo la chiusura dell'Assemblea, il prof. ing. **Giovanni Rutelli** dell'Università di Genova, ha tenuto una conferenza sul tema: « **Radionavigazione** ».

La conferenza ha vivamente interessato gli intervenuti e l'oratore è stato vivamente complimentato.

*

SEZIONE PUGLIESE

Verbale dell'Assemblea Ordinaria dei soci della Sezione - Bari, 5 dicembre 1946 - ore 16,30 (seconda convocazione).

ORDINE DEL GIORNO:

— Comunicazioni della Presidenza sull'attività della Sezione.
— Aumento quote sociali.
— Bilancio consuntivo 1945 e preventivo 1946.
— Varie ed eventuali.

Sono presenti: Il Presidente ing. Cerillo; il Vice Presidente ing. Carabellese; il Consigliere Delegato ing. Celentani Ungaro; i Consiglieri ing. Squicciarini, ing. Ortensi, ing. De Luca, ing. Pollice, il Segretario-Cassiere ing. Cambria, e circa quarantacinque soci.

Presiede l'ing. Cerillo, il quale dopo brevi parole di saluto per gl'intervenuti, constata con soddisfazione la numerosa affluenza di soci alla presente assemblea, indice questo di partecipazione attiva degli iscritti alla vita della Sezione.

Il Presidente, dopo aver ringraziato gli intervenuti, riferisce al Consiglio sull'attività della Sezione, attività che ha segnato una notevole ripresa dopo il periodo di stasi dovuto alla guerra. Si sono avute nello scorcio dell'anno 1945 due conferenze, che hanno richiamato un gran numero di soci, alle quali ne sono seguite altre 6 nell'anno 1946. Le particolari condizioni attuali non hanno consentito l'organizzazione di visite e gite, ma si augura che a ciò si possa arrivare al più presto.

In merito alla situazione soci l'ing. Cerillo rende noto che nell'anno 1945 si è avuto un incremento di 11 soci. Al 31 dicembre 1945 il numero di iscritti è complessivamente di 102 oltre 2 sostenitori. Sottolinea con soddisfazione l'esito lusinghiero della campagna presso la Sezione per l'acquisizione di soci sostenitori, in seguito alla quale il numero dei sostenitori è salito da 2 a 14 (cifra considerevole tenuto conto del numero degli iscritti!)

In merito alla compilazione del nuovo Statuto A.E.I., l'ing. Cerillo riferisce sulla procedura adottata per la compilazione del nuovo testo soffermandosi sulle proposte di modifica a suo tempo sottoposte dal Consiglio di Sezione alla Sede Centrale, proposte che sono state nella maggior parte accettate. Comunica infine che lo spoglio delle schede del referendum indetto per l'approvazione di detto Statuto ha avuto luogo il 17 dicembre 1946 presso la Sede Centrale.

In merito all'aumento delle quote di associazione per l'anno 1947, presa in esame la proposta del Consiglio di Sezione, dopo un'ampia discussione alla quale partecipano numerosi soci, l'Assemblea decide ch'esse siano così fissate:

Soci individuali (residenti e non residenti)	L. 900
» juniores	» 600
» collettivi 1ª categoria	» 1 200
» » 2ª »	» 3 500
» » 3ª »	» 9 000
» » 4ª »	» 18 000
» sostenitori individuali (quota supplementare)	» 1 000
» » collettivi » »	» 4 000

Si passa poi all'esame del bilancio consuntivo 1945 e preventivo 1946.

BILANCIO CONSUNTIVO 1945

ENTRATE

1) Quote di Associazione 1945:					
a) Soci indiv. residenti	n. 84	a L. 150	L. 12,600,—		
» Juniores	» 6	» 80	» 480,—		
b) » Collettiv. 1ª Categ.	» 4	» 320	» 1.280,—		
» » 2 »	» 2	» 600	» 1.200,—		
c) » Sosten. individ.	» 1	» 200	» 200,—		
» » collett.	» 1	» 1000	» 1.000,—		
d) » Vitalizi	» 1	» 30	» 30,—		
» perpetui	» 2	» 125	» 125,—		
					L. 17.040,—
2) Quote arretrate:					
a) 1944				L. 1.285,—	
b) 1943				» 375,—	
					» 1.660,—
3) Interessi attivi a:					
a) su titoli Prestito Redim. 3,50%	Val. N. 8000			L. 280,—	
b) su Buoni Novenn. 5%	» 5000			» 250,—	
c) su deposito in c/c Comit				» 142,—	
					» 672,—
4) Varie:					
a) da Sede Centrale - conguaglio contributi 1944				L. 530,—	
b) Rimborso da Sede Centrale per quote Soci radiati 1943				» 90,—	
					» 620,—
TOTALE ENTRATE					L. 19.992,—

USCITE

1) Contributi a Sede Centrale 1945:					
a) Soci individ. resid.	n. 84	a L. 120	L. 10.080,—		
» Juniores	» 6	» 60	» 360,—		
b) » Collett. 1ª Categ.	» 4	» 120	» 480,—		
» » 2ª »	» 2	» 400	» 800,—		
c) » Sosten. indiv. (quota ridotta per socio radiato)	» 1	» 80	» 80,—		
» Sosten. collett.	» 1	» 800	» 800,—		
d) Quota ridotta (1/2) per socio indiv. radiato	» 1	» 60	» 60,—		
					L. 12.660,—
2) Locali (offerti dalla Soc. Gen. Pugliese di Elettricità)					» —,—
3) Biblioteca: abbonamenti e pubblicazioni					» 400,—
4) Amministrazione:					
a) personale				L. 2.700,—	
b) postelegraf.				» 1.213,—	
c) cancelleria e stampati				» —,—	
					» 3.913,80
5) Manifestazioni sezionali					» 416,—
6) Imprevisti e varie:					
Contributi a Sede Centrale per quote arretrate					» 180,—
Avanzo esercizio 1945					» 2.422,20
TOTALE USCITE					L. 19.992,—

SITUAZIONE PATRIMONIALE AL 31 DICEMBRE 1945

ATTIVO

1) Cassa: contanti		L. 297,55	
c/c Comit		» 15.321,40	
			L. 15.618,95
2) Crediti:			
a) da Sede Centrale - Eccedenza attiva conti contributi 1945		L. 823,90	
b) Interessi attivi 2° semestre Prestito Redimib. 3,50% incassati nel 1946		» 140,—	
			» 963,90
3) Titoli di Stato:			
a) Prestito redimib. 3,50% Nom. L. 8.000		L. 6.444,—	
b) Buoni Tesoro Novenn. 5% » 5.000		» 4.955,—	
			» 11.399,—
4) Mobili: apparecchio radio		L. 1,—	
varie		» 1,—	
			» 2,—
5) Biblioteca per memoria			» 1,—
TOTALE ATTIVO			L. 27.984,85

PASSIVO

1) Debiti: Quote 1946 incassate nel 1945			L. 2.450,—
2) Risultanze al 31-12-1945			
a) Patrimonio al 31-12-1944		L. 23.112,65	
b) Avanzo esercizio 1945		» 2.422,20	
			» 25.534,85
TOTALE PASSIVO			L. 27.984,85

BILANCIO PREVENTIVO 1946

ENTRATE

1) Quote Associazione 1946:					
a) Soci individ. residenti	n. 86	a L.	400	L.	34.400,—
» Juniores	» 9	»	200	»	1.800,—
b) » collettivi 1ª Categ.	» 4	»	600	»	2.400,—
» » 2ª »	» 2	»	1.850	»	3.700,—
c) » sostenitori individ.	» 14	»	500	»	7.000,—
» » collett.	» 1	»	2.500	»	2.500,—
d) » vitalizi	» 1	»	30	»	30,—
e) » perpetui	» 2	»	125	»	250,—
				L.	52.080,—
2) Interessi attivi				»	600,—
3) Varie (quote arretrate)				»	620,—
TOTALE ENTRATE				L.	53.300,—

USCITE

1) Contributi alla Sede Centrale:					
a) Soci indiv. residenti	n. 86	a L.	300	L.	25.800,—
» Juniores	» 9	»	150	»	1.350,—
b) » collett. 1ª Categ.	» 4	»	500	»	2.000,—
» » 2ª »	» 2	»	1.500	»	3.000,—
c) » sostenit. individ.	» 14	»	400	»	5.600,—
» » collett.	» 1	»	2.000	»	2.000,—
				L.	39.750,—
2) Locali, illuminaz., riscald. (offerti dalla S.G.P.E.)				»	—,—
3) Biblioteca: abbonam. e pubblicazioni, etc.				»	500,—
4) Amministrazione: *a*) personale			L.	3.000,—	
b) postelegrafon.			»	1.500,—	
c) cancelleria			»	500,—	
d) varie			»	500,—	
				»	5.500,—
5) Manifestazioni sezionali				»	550,—
6) Impreviste e varie				»	200,—
Avanzo presunto 1946				»	6.800,—
TOTALE USCITE				L.	53.300,—

Chiarimento su alcune voci del Bilancio Consuntivo 1945.

ENTRATE

a) DETTAGLIO QUOTE ARRETRATE.

1) *Quote anno* 1943:

— incassate direttamente dalla Sezione nel 1945 (Cerillo-Cafaro-Renna-Patruno) n. 4 a L. 75 . . L. 300
— incassate dalla Sede Centrale (Boccassini) . . » 75

Totale . . . L. 375

2) *Quote anno* 1944:

— Come è noto, in conseguenza degli eventi bellici, le quote 1944 furono esatte nel 1945. Di queste, parte furono esposte in bilancio 1944; la differenza quindi viene riportata nel bilancio 1945 sotto la voce « quote arretrate ».

QUOTE 1944	Quote 1944 esatte nel 1945	Quote 1944 esposte in bilancio 1944	N.	Differenza a L.	Differenza Importo
Soci individuali resid.	78	75	3	75,—	225,—
» Juniores	2	1	1	40,—	40,—
» Collett. 1ª Categ.	4	2	2	160,—	320,—
» » 2ª »	2	—	2	300,—	600,—
» Sostenit. individ.	1	—	1	100,—	100,—
» » collett.	1	1	—	—,—	—,—
» Vitalizi	1	1	—	—,—	—,—
» Perpetui	2	2	—	—,—	—,—
					1.285,—

b) VARIE.

1) *Dimostrazione del conguaglio contributi* 1944 *a Sede Centrale*:

— A seguito dell'accertamento della posizione di alcuni soci irreperibili, ultimato dopo l'approvazione del bilancio 1944, sono derivate alcune divergenze fra l'importo dei contributi 1944 esposti in bilancio, e quello realmente dovuto:

Contributi 1944 a Sede centrale	Contributi esposti in bilancio 1944	Contributi effettivamente dovuti	N.	Differenza a L.	Differenza Importo
Per Soci individuali	82	79	3	60,—	180,—
» » Juniores	2	1	1	30,—	30,—
» » Collett. 1ª Cat.	5	3	2	60,—	120,—
» » » 2ª »	3	2	1	200,—	200,—
» » Sostenit. ind.	1	1	—	—,—	—,—
» » » collett.	1	1	—	—,—	—,—
Differenza esposta in + in Bilancio 1944				L.	530,—

2) *Rimborsi dalla Sede Centrale per soci radiati* 1943:

Socio De Petris (1/2 quota) . . . . . L. 30
» Greco (1/2 quota) . . . . . » 30
» Miacola (1/2 quota) . . . . . » 30

Totale . . . L. 90

USCITE

Dimostrazione dei contributi pagati alla Sede Centrale per quote arretrate

a) Per soci morosi riammessi (1944):

Patruno (individuale) . . . . . L. 60
Corazza (junior) . . . . . » 30
Biblioteca Di Venere (coll. 1ª) . . . . . » 60

b) Supplemento quota 1943 Santucci per passaggio da junior a individuale . . . . . » 30

Totale . . . L. 180

I bilanci vengono approvati.

Esaurito l'ordine del giorno e non avendo nessuno dei presenti chiesto la parola, il Presidente alle ore 18,30 toglie la seduta.

*

SEZIONE DI TORINO

Martedì 2 aprile 1946, presso la Sede sociale, il **dott. ing. Salvatore Platania,** della Società Nazionale Officine di Savigliano, ha parlato sul tema: « **Dimensionamento e costruzione degli alternatori** ».

Il presidente Lombardi, nel presentare al numeroso uditorio l'oratore, mette in rilievo come egli abbia dedicato specificatamente la sua attività più che ventennale al calcolo ed alla costruzione del macchinario elettrico, interponendo, nell'opera del calcolatore e del costruttore, anche una parte di attività didattica, come assistente per le costruzioni elettromeccaniche presso l'Istituto Elettrotecnico Nazionale per gli allievi del Politecnico: opera sempre utilissima, che opportunamente reca nella scuola l'eco insostituibile della vita professionale pratica, d'industria e di officina, vissuta a contatto delle difficoltà e dei problemi quotidiani. L'ing. Platania svolge la sua attività presso la Società Officine di Savigliano, ben nota fra i costruttori e gli esercenti italiani e stranieri.

Il prof. Lombardi ringrazia vivamente, a nome di tutti i presenti, l'ing. Platania, nonchè la Direzione della Società che volle cortesemente interessarsi anch'essa di questa comunicazione.

L'ing. Platania, dopo di avere accennato brevemente al problema del dimensionamento degli alternatori, basato principalmente sull'attuazione della macchina più leggera possibile, con l'impiego della minore quantità di materiale e con la più bassa spesa di mano d'opera, seguendo il classico sistema di calcolo fondato sull'introduzione della costante di macchina, analizza alcuni elementi che influenzano detto dimensionamento, e le ripercussioni che essi hanno nella costruzione e nel costo di produzione degli alternatori.

Tali elementi vengono distinti in due categorie e cioè quelli meccanici propriamente detti e quelli elettrici: ai primi corrispondono le esigenze dei costruttori delle turbine, fra le quali primeggiano per importanza il valore della velocità di fuga delle turbine ed il valore del momento d'inerzia della parte rotante; ai secondi corrispondono le esigenze delle Società esercenti fra le quali primeggiano il funzionamento della macchina a potenza costante, ma con tensione variabile in più o in meno di una certa percentuale, il funzionamento della macchina a due frequenze, il funzionamento alla massima potenza in regime di sottoeccitazione, l'imposizione di un determinato rapporto di corto circuito, di una corrente permanente di corto circuito, prescrizioni di sovraccarico, di rendimento, di regolazione e così via.

Sulla traccia di codesti elementi si viene alla conclusione che i vecchi metodi prima accennati per il dimensionamento degli alternatori, basati sulla costante di macchina, non sono più sufficienti; onde i costruttori preferiscono ricorrere al metodo del confronto diretto, servendosi dei dati raccolti dalla esperienza su macchine da loro costruite che in pratica abbiano dato ottimi risultati, e per cui si disponga di tutti gli elementi, anche dei più minuti.

Il conferenziere accenna ancora al sistema di dimensionamento trattato qualche anno fa dal collega Di Pierro e comparso in un pregevole articolo su « L'Elettrotecnica », nel quale oltre che degli elementi già noti si tiene conto

della tensione percentuale di reattanza, procurando così una visione più completa delle diverse cause che influenzano il dimensionamento degli alternatori a poli salienti.

La trattazione dell'ing. Platania è stata seguita attentamente e con molto interesse. Ed è poi stata vivamente applaudita.

Il prof. Lombardi, dopo alcune richieste di chiarimenti cui il relatore risponde, lo ringrazia nuovamente e chiude la riunione.

* *

Venerdì 19 aprile 1946, in un'aula dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale, gentilmente concessa, il dott. ing. **Luigi Selmo**, Direttore Generale della Società Idroelettrica Piemonte, ha commemorato il

prof. dott. ing. CARLO PALESTRINO

Alla riunione, promossa dalla Sezione di Torino dell'A.E.I., dall'Istituto Elettrotecnico Nazionale, dalla Società Idroelettrica Piemonte, dalla Società Ingegneri e Architetti in Torino, hanno partecipato numerosissimi i soci dell'A.E.I., professori, assistenti ed allievi dell'I.E.N., del Politecnico e dell'Università, dirigenti ed impiegati della SIP, soci della SIAT.

Il prof. Lombardi, Presidente della Sezione, ha aperto la riunione con le seguenti parole:

« Oggi ci riunisce uno scopo mesto, ma caro al nostro cuore, la rievocazione di una di quelle persone cui si valuta più profondamente quanto fossimo affezionati quando ci vengono a mancare: Carlo Palestrino.

« A me incombe l'obbligo di ringraziare quanti hanno voluto onorare e rendere più solenne con la loro presenza questa nostra adunanza. E lo faccio in nome dell'Associazione Elettrotecnica Italiana, dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale, per incarico avutone dal Commissario prof. Deaglio, della Società Ingegneri ed Architetti di Torino, per incarico del Presidente ing. Chevalley. Non dico anche a nome della Società Idroelettrica Piemonte, perchè questa è autorevolmente rappresentata da chi fra poco ci parlerà. All'ing. Selmo esprimo la viva gratitudine degli enti promotori e di tutti noi, per aver egli esaudito il nostro desiderio che fosse lui a rievocare la figura dello scomparso. E siamo certi che nessuno meglio di lui avrebbe potuto assolvere questo compito.

« Sono presenti in ispirito molti amici ed estimatori del prof. Palestrino, ai quali le circostanze non hanno consentito d'intervenire in persona. Fra gli altri il prof. ing. Marco Semenza, Presidente Generale dell'A.E.I., ed il prof. Angelo Barbagelata, Segretario Generale, che hanno inviato i seguenti telegrammi:

« Spiacentissimo mia assenza preordinata da tempo impedisca partecipare commemorazione prof. Palestrino, invio commosso reverente saluto amico scomparso, tecnico valentissimo, a nome A.E.I. e mio personale — *Marco Semenza* ».

« Forzatamente assente associomi commemorazione compianto ed amato ingegnere Palestrino — *Barbagelata* ».

« Del prof. Palestrino ci dirà ampiamente l'ing. Selmo, ma io non posso rinunciare a ricordare tutto ciò che in particolare la Sezione di Torino dell'A.E.I. gli deve, per l'attività che sempre le ha dedicato come presidente e come socio fra i più autorevoli e fra i più benemeriti. E non posso non rammentare l'opera sua di conferenziere apprezzatissimo: ancora verso la fine di dicembre egli ci diede generosamente la sua relazione sulla situazione degli impianti elettrici in Italia, che destò grande interesse.

È bello che per parlare di Lui ci riuniamo in questo Istituto, nel quale egli ha svolto per tanti anni la sua opera didattica. Schiere innumerevoli di allievi hanno approfittato del suo insegnamento e — aspetto non meno importante — hanno tratto esempio dalla sua passione per i nostri studi: dote che ha lasciato traccia senza dubbio in ciascun di essi.

La sera in cui ci colse inattesa e tristissima la notizia della fine del professore, mi trovavo con gli amici dell'A.E.I., quasi che un disegno superiore avesse voluto che la dolorosa notizia ci trovasse riuniti per parlare di lui in seno all'Associazione che gli era cara. Dissi poche cose improvvisate, ma non potei rinunciare a far cenno della sua bontà. È uno dei pensieri più consolanti quando ci si trova davanti al mistero dell'al di là. Lo ricordo anche oggi, perchè mi sembra una delle caratteristiche più degne con cui ricordare il nostro amico: esempio che egli ci lascia fra tanti altri anch'essi apprezzabili, ma che costituisce una grande ricchezza di meriti per lui ed un ricordo fra i più preziosi per noi ».

Il prof. Lombardi prega quindi l'ing. Selmo di prendere la parola.

Riportiamo la commemorazione detta dall'ing. Selmo.

*

« Esprimo la mia viva riconoscenza all'Istituto Elettrotecnico Galileo Ferraris, alla Società Ingegneri e Architetti, alla Sezione dell'Associazione Elettrotecnica e alla SIP per aver voluto affidarmi l'onore e il compito di ricordare la nobile figura del compianto prof. ing. Carlo Palestrino.

Per la sua commemorazione nessuna sede poteva essere più adatta e più degna di questo Istituto dove Egli profuse le Sue doti preclare di zelante e impareggiabile Maestro.

Nell'adempiere l'incarico conferitemi provo questa sera una intensa commozione, non potendomi distaccare dal ricordo dell'amicizia sincera, che ci legava da oltre un ventennio. Questo ricordo vuole come primo accenno il richiamo a due caratteristiche rare e di grande pregio da Lui possedute. Voglio dire la riunione delle doti eccelse della mente con quelle purissime del cuore ed una bontà che gli traspariva dagli occhi ed era uno spontaneo riflesso del suo animo, una qualità congenita del suo spirito.

Carlo Palestrino nacque il 7 luglio 1879 in questa Torino, al cospetto delle Alpi che col candore delle loro nevi ispirano agli uomini la purezza dei sentimenti e con la saldezza delle loro roccie insegnano la fermezza del carattere.

Di famiglia signorile, molto nota e stimata, sotto la guida del padre avv. Paolo e della madre sig.ra Luisa Simondetti, percorse, distinguendosi con onore, gli studi primari e secondari e fu ammesso all'Accademia Navale di Livorno nell'ottobre 1896.

Quivi superò brillantemente i corsi ed entrò in servizio attivo nello Stato Maggiore. Ma nonostante il favorevole risultato degli studi e delle prove pratiche della carriera marinara, Egli si sentì maggiormente spinto verso gli ampi e complessi problemi di ingegneria e di elettrotecnica più consoni al Suo carattere.

Perciò nel 1904, tenente di vascello, lasciava la carriera delle armi per frequentare a Torino la scuola di applicazione degli ingegneri e la Scuola Superiore di Elettrotecnica « Galileo Ferraris » laureandosi nel 1906 in ingegneria industriale con diploma speciale di elettrotecnica.

Subito dopo la laurea fu assunto come ingegnere nella Società Piemontese di Elettricità che tiene un posto memorando nella storia dell'industria dell'illuminazione elettrica in Italia, perchè nella vecchia centrale termica di S. Donato e in quella idraulica del R° Parco furono successivamente sperimentati e messi in funzione tutti i principali sistemi di produzione e distribuzione di energia elettrica e si effettuò uno dei primi trasporti di energia elettrica a distanza con corrente alternata ad alta tensione.

Oggi quelle piccole centrali non esistono più e può forse sembrare strano il loro ricordo di fronte alle imponenti centrali moderne, ma allora eravamo ai primordi di una scienza e di una industria che ha progredito con una rapidità di cui forse non vi è esempio.

Egli entrò dunque nel 1907 alla Società Piemontese di Elettricità, dove il Suo ingegno e la Sua illuminata attività gli fecero compiere rapida e brillante carriera, essendo Ingegnere Capo Servizio nel 1914, ed avendo nel 1919 la nomina a Direttore Tecnico al posto del Suo predecessore, il compianto e ben noto e valoroso Ing. Raffaele Pinna, morto immaturamente ed improvvisamente.

In tutte le Aziende Elettriche di allora, e di adesso, i successi tecnici non sono sufficienti: per l'industria elet-

trica a carattere immobiliare occorre sempre nuovo afflusso di capitali i quali non è facile ottenere adesso ma era più difficile avere allora trattandosi di industria nascente.

Così alla Società Piemontese di Elettricità venne a mancare la possibilità di continuare una vita rigogliosa e perciò nel 1919, attrattovi anche dal grandioso programma Carlo Palestrino preferì entrare nel sorgente Gruppo S.I.P., dove ebbe la carica di Direttore Tecnico della Società Elettricità Alta Italia.

Ed anche nel gruppo S.I.P. continuò la sua ascensionale carriera, raggiungendo nel 1925 il posto di Direttore Centrale della Società Idroelettrica Piemonte e Consulente Generale Tecnico di tutto il Gruppo. In tale ultima qualità si recò nel 1926 in America a studiare gli ultimi progressi nel campo elettrotecnico e di ritorno in Italia eseguì il progetto della linea a 220 000 volt da Cardano nel Trentino a Cislago, la quale rimane un suo grande titolo di onore perchè era la prima che si costruiva in Europa a così alta tensione.

La sua opera di Consulente Tecnico del Gruppo S.I.P. Egli continuò fino al maggio 1945 quando, per unanime consenso degli azionisti, dei funzionari e lavoratori tutti e del Comitato di Liberazione Nazionale del Piemonte, fu chiamato a presiedere il Consiglio dei Commissari della gestione straordinaria S.I.P. Ed io sono ancora commosso al ricordo della toccante dimostrazione di affetto e di stima tributatagli da tutto il personale, quando Egli lo riunì per presentargli i nuovi componenti messi con Lui a capo di un così importante complesso. In quell'occasione fu manifesto che le simpatie generali da lui destate, gli avevano procurato in tutto l'ambiente S.I.P. una popolarità estesa e schietta.

Nella nuova, delicata mansione, piena di responsabilità, di Capo della Gestione Commissariale, con la Sua attività equilibratrice e serena seppe placare tutte le passioni di parte, e con la Sua prudente e preziosa esperienza riuscì a superare un periodo pieno di momenti difficili.

Terminata la Gestione Straordinaria, dopo sei mesi, e ripristinati i Consigli di Amministrazione tanto alla S.I.P. quanto alle sue consociate, Egli veniva nominato Consigliere di Amministrazione della S.I.P. e Presidente della Società Piemonte Centrale di Elettricità.

Anche al di fuori delle aziende elettriche Egli svolse attività industriale perchè molti incarichi di tecnico, di progettista e di collaudatore ebbe presso diversi stabilimenti torinesi. L'esplicazione competente e coscienziosa di questi compiti non poteva passare inosservata e infatti gli accaparrò la fiducia del Senatore Agnelli e della Direzione Generale FIAT, i quali lo chiamarono nel marzo 1937 come Consulente nel campo elettrico per lo studio e per la realizzazione dei nuovi grandiosi impianti dell'allora costruenda Fiat-Mirafiori e tale Egli rimase fino a quando la breve malattia e la morte lo rapirono inaspettatamente.

A queste notevoli benemerenze nel campo tecnico industriale che qui ho ricordato si aggiungono gli alti meriti che Egli si acquistò nel campo dell'insegnamento.

L'ing. Gian Giacomo Ponti, fondatore e amministratore del Gruppo S.I.P. e anche insegnante di impianti elettrici al Politecnico Torinese, volle come suo assistente l'ing. Palestrino, che intanto aveva ottenuto la libera docenza in impianti elettrici e in costruzione di macchine elettriche. E quando l'ing. Ponti per lo sviluppo sempre più grande che il Gruppo S.I.P. assunse sotto la sua guida e sotto il suo impulso, fu costretto nel 1928 a lasciare l'insegnamento, il Palestrino gli successe in quella cattedra che ha brillantemente mantenuto per oltre tre lustri e cioè fino alla Sua immatura scomparsa. La passione per la scuola, l'affettuosa proteziose per i giovani, l'entusiasmo con cui sapeva animare il loro lavoro, il mirabile esempio di quotidiana abnegazione ne facevano un Maestro ideale ed io sono sicuro che il Suo nome e la Sua opera di insegnante avranno lunga risonanza in tutti gli allievi che lo ebbero guida sapiente non solo nelle lezioni e nelle esercitazioni, ma anche nelle gite di istruzione nelle quali Egli ogni anno ripetutamente li accompagnava perchè si rendessero conto delle applicazioni pratiche e dei progressi della elettrotecnica nelle centrali, nelle sottostazioni, e cabine di cui in Piemonte vi è dovizia di modelli.

Per questo Istituto dove aleggia la Sua memoria, la morte dell'ing. Carlo Palestrino rappresenta una grave perdita e senza alcuna esagerazione posso affermare che sarà ben difficile trovare chi lo sostituisca nell'opera che Egli compì come una missione e con la fede di un maestro appassionato. E chi conosce come gli incaricati di un insegnamento sono compensati, può ben dire che si tratta di apostoli i quali intendono l'esercizio delle loro mansioni come un sacerdozio.

La sua attività scientifica fu notevole: compì numerosi importanti studi sul « comportamento delle linee ad altissima tensione per il trasporto di grandi masse di energia a grande distanza » sul « grosso macchinario elettrico », sugli « interruttori ad alta ed altissima tensione », sui « dielettrici », ecc. e le Sue pubblicazioni furono molto apprezzate sia in Italia che all'estero. Non è questa la sede opportuna per un esame dei Suoi lavori e del resto non sarebbe nelle mie possibilità il farlo adeguatamente; pure voglio ricordare due sue elaborate memorie, una del 1941 sul tema: « la costruzione degli impianti elettrici in Italia » e l'altra del dicembre ultimo scorso avente per argomento « la produzione dell'energia elettrica in Italia ieri ed oggi » perchè esse sono due ricche miniere di dati preziosi tanto per coloro che si accingono a costruire impianti idroelettrici quanto per chi deve provvederne all'esercizio.

Queste memorie furono presentate all'Associazione Elettrotecnica Italiana, che lo ebbe tra i soci più affezionati ed attivi. Oltre a coprire successivamente le cariche di Segretario, Consigliere, Consigliere Delegato, Vice Presidente e Presidente della Sezione di Torino, dando a questa grande impulso, prodigò la Sua opera presentando ad ogni Congresso delle relazioni pregevoli e collaborando nel Comitato macchine di cui con grande competenza costantemente fece parte fin da quando venne istituito.

Della Società degli Ingegneri e Architetti di Torino fu membro assiduo e autorevole e quando si costituì la Federazione degli Ingegneri ne fu anche Presidente. Negli anni del regime fascista quando queste, come tante altre istituzioni, perdendo la libertà furono sistemate a Sindacato fascista, Egli se ne ritrasse, rifugiandosi nella Associazione Elettrotecnica fortunatamente rimasta fuori dell'ordinamento sindacale. Ma col ritorno della libertà e con la ricostituzione della Società degli Ingegneri e Architetti, Egli si riavvicinò con l'antica passione e fu eletto Vice-Presidente, carica che ha conservato fino alla morte.

Della stima di cui era universalmente circondato sono altre prove gli incarichi a Lui affidati durante il difficile periodo della eccezionale magra degli anni 1921 e 1922, quando i segnalati servizi da Lui resi gli fruttarono la nomina a Commendatore; le cariche coperte nei vari istituti di istruzione industriale della città di Torino; la presidenza del Rotary Club.

Alla Sua molteplice attività sia scientifica sia tecnica trovava sollievo e riposo coll'elevarsi nelle serene regioni dell'arte musicale, di cui Egli era un raffinato e profondo intenditore oltre che appassionato suonatore di violoncello.

Di sentimenti altamente patriottici, amava con ardore il Suo Paese e ne seguiva con ansia le vicende. Fu sempre antifascista e antinazista e comprese tutta la necessità e tutto l'idealismo della lotta di liberazione fino a farsi rimuovere dal grado di Tenente di Vascello, piuttosto che prestare giuramento all'epoca della repubblica fascista.

Adorò la famiglia, la Sua eletta compagna e le amorose figliuole, alle quali Egli tutto si dedicò e che gli hanno fatto bella la vita. L'ala benefica del tempo possa attenuare e rendere meno cocente il loro dolore, addolcendolo nelle serenità del ricordo.

Negli ultimi mesi della Sua vita io ebbi molte più occasioni che per il passato di essergli vicino e di intuire in Lui l'intera e pura soddisfazione di coloro che vedono riconosciuto, assieme ai loro meriti, tutto il loro passato di lavoratori infaticabili ed onesti.

Infatti questo riconoscimento rappresentava il giudizio sulla Sua intemerata vita e sul lavoro da Lui svolto per oltre un quarantennio con purezza di intenti e con incondizionata dedizione al dovere, nella luce inestinguibile di una Fede altamente e nobilmente sentita.

Tale era Carlo Palestrino che lascia dietro di sè grande rimpianto.

Eleviamo il nostro reverente pensiero verso il Caro scomparso tutti noi, vecchi e giovani, colleghi e scolari nella commossa ammirazione di quelli che furono gli ideali della Sua vita bene spesa ».

* *

SEZIONE VENETA

Estratto del verbale dell'Assemblea del 17 febbraio 1947.

Il giorno 17 febbraio 1947, alle ore 15,30, nell'aula di Elettrotecnica dell'Università in via Marzolo, 9 - Padova, ha avuto luogo, in seconda convocazione, l'Assemblea dei soci della Sezione Veneta. Presiedeva il Consigliere Delegato prof. Marzolo in assenza del Presidente ing. Granata e su invito del Consiglio di Sezione.

Il Presidente dichiara aperta la seduta in seconda convocazione e pertanto valida qualunque sia il numero dei presenti. Giustifica l'assenza dell'ing. Granata ed illustra l'ordine del giorno. Dà quindi la parola all'ing. F. Broch-Toniolo, Segretario uscente della Sezione, il quale legge la relazione sull'attività della Sezione durante il quadriennio di carica dell'attuale presidenza.

L'attività della presidenza uscente è stata limitatissima a causa del periodo in cui si è svolta, avendo avuto inizio nel marzo del 1943.

L'attività culturale si è ridotta ad alcune conferenze nel 1943, seguite da una stasi completa fino al 1945; in quest'anno e nel 1946 abbiamo avuto le conferenze Novelli e Di Vito qui a Padova, e Scandone, Bernardini, Bargellini a Venezia in collaborazione con altri enti culturali.

Le attività di segreteria ed amministrativa hanno invece potuto proseguire abbastanza regolarmente, prima presso il Centro Volpi di Elettrologia, dove avevamo la sede fin dal 1939, poi in questa sede, seguendo nella sua nuova sistemazione il Centro Volpi.

Per essere la parte principale dei soci suddivisa tra Venezia e Padova, c'è alternatamente una delle due città senza alcun ufficio o recapito per i soci. Per ovviare a questo inconveniente si è pensato di istituire in Venezia una sottosezione, come prevede l'art. 34 del nuovo statuto; quando poi la sezione ritornerà a Venezia, a Padova si farà la sottosezione. Questo permetterebbe di avere come segretario della sottosezione una persona che potrebbe successivamente diventare segretario di sezione, garantendo una più facile continuità per quel che riguarda le pratiche burocratiche con l'Ufficio centrale ed i soci stessi.

Senonchè il Consiglio Generale ha espresso il parere che la sottosezione abbia un carattere interno e non sia richiesta la sua approvazione, secondo l'art. 34, in modo da non complicare ancora i rapporti tra l'Ufficio Centrale e la Sezione Veneta per essere questa così variabile di stanza. Il Consiglio uscente pertanto ha deliberato l'istituzione della Sottosezione di Venezia come recapito e centro di attività per i soci di Venezia ed alle dirette sue dipendenze, ma si è astenuto dal nominarne il Segretario, lasciando questa decisione al Consiglio entrante.

L'ordinaria amministrazione svolta dalla Presidenza uscente si può riassumere nei seguenti dati: I soci che nel marzo 1943 erano 315, sono oggi 377, con un aumento di circa il 15 %.

A questo riguardo merita un particolare riconoscimento il prof. ing. Zuccante, direttore del Laboratorio di Elettrotecnica dell'Istituto tecnico industriale di Venezia, il quale ci ha presentato ben 27 nuovi soci. Da segnalare pure che, tra i 12 soci sostenitori, cinque lo sono divenuti in questi ultimi due anni.

In questi quattro anni si è dovuto lamentare la morte di 15 soci, essi sono: gli ingegneri Bongiovanni; Carli; Della Rovere; Dolcetta; Fracanzani; Molinatti; Pavan; Pratelli; Raimondi; Rossi; perito industriale Sabbatani; ing. Silenzi; perito industriale Toffolo Giovanni; ingegneri Voltolina e Zannini.

Le condizioni finanziarie, su cui riferirà più particolarmente il Cassiere, sono soddisfacenti appunto perchè non è stata svolta attività culturale.

Nei periodi difficili, con l'aiuto di alcune società elettriche, si è riusciti a far pervenire diversi numeri della rivista ai soci dei centri principali; dopo la liberazione si è provveduto a completare le raccolte a quasi tutti i soci, compatibilmente con le copie disponibili all'Ufficio Centrale.

La quota di associazione in questo quadriennio ha subito notevoli variazioni, tentando di seguire a minor distanza possibile il costo della rivista.

Il Consiglio di Sezione ha stabilito, nell'ultima seduta, le quote associative a partire dal 1° gennaio 1947. Esse sono:

Soci juniores	L.	600
» individuali	»	1000
» collettivi 1ª cat.	»	1400
Soci collettivi	L.	
» » 2ª »	»	4000
» » 3ª »	»	10 000
» » 4ª »	»	20 000
» sostenitori individuali	»	1000
» » collettivi	»	4000

Esprime infine la speranza che l'opera della Presidenza uscente non sia stata inutile ma abbia servito a mantenere unita la compagine dei soci, efficiente il funzionamento della Segreteria e della cassa, e sano il bilancio in modo che la Presidenza che seguirà possa meno difficilmente riprendere l'attività culturale e svilupparla con maggior vantaggio dei soci e soddisfazione propria.

Nessuno chiede la parola e si mette ai voti la relazione che viene approvata all'unanimità.

Il Presidente dà quindi la parola al Cassiere che espone il bilancio consuntivo per il 1946 non ancora definitivo, non essendo ancora regolati gli ultimi conteggi con l'Ufficio Centrale; espone pure il bilancio preventivo per il 1947. L'Assemblea approva entrambi senza discutere.

Si passa quindi alla elezione delle cariche sociali; risultano così eletti:

Presidente: prof. Giovanni De Fassi.
Vice Presidente: ing. Augusto Ambrosi.
Segretario: ing. Augusto Ancona.
Cassiere: ing. Danilo Solero.
Consiglieri: ing. Carlo Semenza; ing. Giacomelli; ing. Angelo De Nat; ing. Francisco Broch-Toniolo.
Consiglieri delegati: prof. Balbino Del Nunzio; prof. Dino Tonini; prof. Ciro Di Pieri; ing. Giorgio Gatto.
Segretario per la Sottosezione di Venezia: ing. Carlo Zuccante.
Revisori dei conti: ing. Giorgio Fabbrini; ing. Lattanzi Giulio.

Prende quindi la parola il prof. De Fassi, il quale assumendo la presidenza ringrazia l'Assemblea della fiducia espressa in lui e, a nome dei soci, l'ing. Granata e la sua presidenza per l'opera svolta in favore della sezione in uno dei periodi più difficili per la vita dell'Associazione.

Rivolge quindi un saluto ai colleghi del nuovo consiglio, attendendosi da essi attiva collaborazione per la futura attività.

Esaurito l'ordine del giorno e nessuno chiedendo la parola la seduta è tolta alle ore 16.

NECROLOGIO

Nelle prime ore del mattino del 12 gennaio 1947, in S. Remo, chiudeva la sua operosa vita terrena il Cavaliere del Lavoro

Sen. Dott. Ing. GIORGIO ENRICO FALCK

Industriale di chiara fama, il cui nome è indissolubilmente legato all'industria italiana di questi ultimi 50 anni, Egli è senz'altro da considerarsi non solo uno dei pionieri dell'industria siderurgica nazionale, ma bensì come Colui che la sviluppò e la potenziò.

Era nato a Dongo (Como) il 12 maggio 1866 e seguendo le tradizioni della famiglia, si dedicò integralmente, già da giovanetto, all'industria siderurgica.

A 21 anni dopo avere impiantato a Gardone Valtrompia una modernissima trafileria della Ditta Redaelli, assunse la Direzione del Laminatoio di Malavedo, fondato da Suo padre. Trasferì poi, migliorandoli e ingrandendoli notevolmente, gli impianti di Malavedo a Rogoredo, nelle immediate vicinanze di Milano.

Nel 1905 fondò la Società che si chiamò Acciaierie e Ferriere Lombarde. La Società venne fondata in forma di Anonima comprendendo gli stabilimenti siderurgici di Vobarno (ex Migliavacca) e di Dongo (ex Rubini) e ponendo mano alla progettazione e alla costruzione immediata del nucleo di ciò che doveva costituire nel corso degli anni, il Gruppo degli Stabilimenti Falck di Sesto S. Giovanni.

Egli chè alla tecnica profonda ed al vasto sapere accumunava un intuito veramente eccezionale, già nell'ormai lontano 1917 in relazione alla deficienza di combustibili vedeva l'enorme importanza che poteva avere nella siderurgia l'impiego dell'energia elettrica.

Iniziava allora una nuova attività della Società, creando un primo impianto idroelettrico nella Valtellina, quello di Boffetto, dal quale doveva poi promanare via via, in rela-

zione allo sviluppo della sua azienda siderurgica, tutto quel complesso veramente imponente di impianti, dislocati sulle Alpi Orobiche e sull'Appennino Ligure, attualmente costituito da 13 centrali aventi complessivamente una produzione annua di energia di oltre 500 milioni di kWh.

Numerosi serbatoi idrici della capacità totale di accumulazione di oltre 65 milioni di kWh, completano gli impianti idroelettrici, integrati da una centrale termica di 10 000 kW, costruita a Sesto San Giovanni nelle immediate vicinanze del gruppo principale degli stabilimenti.

La libera disponibilità di forti masse di energia elettrica di propria produzione, permise inoltre la razionale fabbricazione delle ferroleghe e la fabbricazione della ghisa dalle ceneri di pirite.

Instancabile nella sua attività creò nel 1928 un grande impianto di ghisa malleabile a cuore bianco.

Fondò infine a Bolzano una modernissima Acciaieria per la produzione di acciai speciali, contribuendo ad affrancare il nostro Paese da tali importazioni.

Accanto a questa Sua vasta opera è doveroso ricordare anche quella che Egli svolse nel campo delle organizzazioni industriali fondando sin dal 1900 l'Associazione degli Industriali metallurgici Italiani che presiedette ininterrottamente sino al 1928.

Durante la guerra 1915-1918 fu collaboratore assiduo di S. E. Dallolio: per conto del Governo assolse numerose ed importanti missioni a Parigi, Londra, Cannes e nella Ruhr.

La Sua particolare competenza e la Sua larga rinomanza nel campo dell'industria è testimoniata dal conferimento della laurea in Ingegneria *honoris causa* conferitagli nel gennaio 1933 dal Consiglio Accademico del Politecnico di Milano, dalla Sua nomina a Vice Presidente onorario dell'Iron and Steel Institute di Londra e di Membro onorario dell'Iron and Steel Institute di New York. Era stato inoltre nominato Commendatore dell'Impero Britannico.

Uomo retto e lineare conscio e partecipe degli importanti problemi che interessano la vita dei lavoratori, Egli istituì fin dal 1905 notevoli opere assistenziali che man mano applicò e sviluppò parallelamente e contemporaneamente allo sviluppo della Società.

Le cure ed attenzioni verso i suoi collaboratori, specie i più umili, non vennero mai meno in ogni istante della Sua vita; in previsione della Sua partenza senza ritorno Egli lasciò una somma per ciascuno dei 500 operai più anziani e inoltre un cospicuo lascito inteso a premiare ogni anno alcuni dei Suoi più vecchi operai: secondo le Sue istruzioni, ciascuno di essi dovrà avere una abitazione costruita in località di sua scelta e della quale diverrà il proprietario.

Istituì e dotò con particolare munificenza presso il Politecnico di Milano un Corso di perfezionamento sulla siderurgia.

Apparteneva alla nostra A.E.I. dal 1916 ed era iscritto fra i Soci vitalizi e benemeriti.

Alla Sua famiglia, ai Suoi collaboratori, cresciuti alla Sua scuola, vada l'espressione del sincero cordoglio di tutta la A.E.I.

*

Il 27 dicembre 1945 a Losanna è morto il consocio

ANTONIO STEFANO BENNI

Nacque a Cuneo il 18 aprile 1880; per difficoltà economiche dovette interrompere gli studi tecnici ch'egli frequentava e fu così che il 22 luglio 1894 trovò lavoro presso Ercole Marelli, capo di una piccola ditta che si occupava di lavori elettrotecnici: poco più di una bottega d'elettricista con una piccola officina che dava lavoro a 4 o 5 operai.

L'armonica collaborazione del Benni con Ercole Marelli portò l'officina ad un rapido sviluppo anche per l'estendersi dei tipi di costruzioni. Già nel 1900 il mercato interno era stato conquistato dai prodotti Marelli e poi, soprattutto ad opera del Benni, venne rapidamente conquistato anche il mercato estero.

Si arrivò così, in circa 25 anni di geniali ed audaci iniziative, al vasto organismo industriale per ogni applicazione elettrotecnica, la Ercole Marelli e C. S.A.

Nel 1922 moriva il fondatore Ercole Marelli ed il Benni assumeva tutte le responsabilità dell'ormai grande azienda e ne completava le attrezzature per tutte le specialità elettromeccaniche.

Tale posto di comando lo portò conseguentemente ad assumere incarichi di primo piano nel campo economico, finanziario, sociale, sindacale e politico del suo Paese e di istituti internazionali.

Era socio dell'A.E.I. fin dal 1917.

*

Il 17 ottobre 1946 cessò di vivere, nella sua Milano dove era ritornato per godersi un meritato riposo dopo una vita di assiduo lavoro, il

Dott. Ing. RICCARDO GERLI

che era stato fino al dicembre 1945 funzionario della Società Pirelli. Entrato a far parte di tale ditta nel 1894, ne aveva diretto per lungo tempo, con laboriosa attività, l'Ufficio impianti, con speciale riguardo allo studio ed alla installazione dei macchinari, sia nei vecchi stabilimenti di Milano città, sia nella creazione del nuovo complesso industriale della Bicocca.

Nel 1922 assunse la direzione dello stabilimento succursale di La Spezia, dove si allestiscono i cavi sottomarini, e vi rimase fino alla fine del 1945. Fu durante questo periodo che in tale stabilimento vennero realizzati i cavi sottomarini più importanti telegrafici e telefonici italiani.

Nello svolgimento dei suoi compiti era apprezzato, oltre che per la sua competenza, per rettitudine e bontà d'animo, sia dai superiori che dai colleghi e dai dipendenti.

ATTIVITÀ DELLE SEZIONI

SEZIONE DI FIRENZE (presso il Circolo Valdarno - Via del Sole, 10).

17 maggio - ore 18 — Concerto offerto ai Soci ed alle loro famiglie della violinista MARIA AUGUSTA ORLER e della pianista MARIA ITALIA BIAGI, con musiche di Vivaldi-Respighi, Bach, Mozart, Veracini-Corti, Chopin e Saint-Saëns.

SEZIONE DI GENOVA (Piazza Fontane Marose, 6 Palazzo Spinola).

23 maggio - ore 21 — Comunicazione del prof. ing. GIOVANNI RUTELLI su « Alcuni riflessi della moderna fisica nel campo della radiotecnica ».

SEZIONE DI NAPOLI (Via Mezzocannone, 16).

16 maggio - ore 17 — Comunicazione del dott. ing. LUIGI SELMO su « Il Gruppo S.I.P. nei riguardi dei nuovi impianti idroelettrici ».

SEZIONE DI TORINO (Piazzetta Mad. degli Angeli, 2).

13 maggio - ore 21 — Comunicazione del dott. ing. CARLO ROSSI su « L'unificazione nel mondo e il suo valore universale ». Detta conferenza sarà tenuta in un'aula del Castello del Valentino.

SEZIONE VENETA (Via F. Marzolo, 9 - Padova).

28 aprile - ore 16 — Nell'Aula di Elettrotecnica della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova, comunicazione del prof. dott. ing. MARIO MEDICI su « I criteri di progettazione delle centrali termoelettriche a vapore ».

9 maggio - ore 18,30 — Comunicazione del dott. ing. CARLO SEMENZA (presso l'Ateneo Veneto, Campo S. Fantin, Venezia) su « Gli impianti idroelettrici in costruzione della Società Adriatica di Elettricità ».

ERRATA CORRIGE

Sul frontispizio del fascicolo dell'indice de « L'Elettrotecnica » dello scorso anno, distribuito insieme al giornale del dicembre u s., per uno spiacevole svarione di composizione è stato stampato « 1947 » anzichè « 1946 »

Segnaliamo la cosa perchè i lettori possano provvedere alla correzione per evitare equivoci e difficoltà in eventuali ricerche bibliografiche negli anni seguenti qualora si scambiasse l'indice del 1946 per quello del 1947!

Prof. ANGELO BARBAGELATA, *Direttore responsabile*. IND. GRAFICHE ITAL. STUCCHI - Via Marcona, 50 - MILANO - 1947